МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства»
(ПГУАС)

В.И. Логанина, О.В. Карпова, В.С. Демьянова

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ, ИСПЫТАНИЙ И КОНТРОЛЯ

Рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов РФ
по образованию в области строительства
в качестве учебного пособия для подготовки бакалавров и магистров
по направлению 08.03.01, 08.04.01 (270800) – «Строительство»

Пенза 2014

УДК 691:620.1
ББК 38.3В7
Л69

Рецензенты: генеральный директор ООО «Технострой-проект» В.С. Абрашитов; кандидат технических наук, доцент С.Н. Кислицына

Логанина В.И.

Л69 Методы и средства измерений, испытаний и контроля: учеб. пособие / В.И. Логанина, О.В. Карпова, В.С. Демьянова. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 264 с.

ISBN 978-5-9282-1138-7

Описаны методы и средства измерения свойств материалов. Рассмотрены физические основы неразрушающих методов контроля качества. Дано краткое описание оборудования, приборов. Изложены методики проведения испытаний.

Подготовлено на кафедре «Управление качеством и технология строительного производства» в соответствии с программой курса «Методы и средства измерений, испытаний и контроля» и предназначено для студентов, обучающихся по направлениям 08.03.01, 08.04.01 «Строительство» и 27.03.01 «Стандартизация и метрология».

ISBN 978-5-9282-1138-7

© Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2014
© Логанина В.И., Карпова О.В., Демьянова В.С., 2014

ПРЕДИСЛОВИЕ

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

При оценке качества строительных материалов, изделий и конструкций применяют разнообразные методы и средства измерений. Без надлежащего изучения свойств исходных материалов, используемых для изготовления строительных изделий, а также готовых изделий, не представляется возможным реализовать задачи, стоящие перед строителями. Последние годы характеризуются внедрением в промышленность стран Западной, Центральной и Восточной Европы единых евростандартов. Общая концепция требований к строительной продукции изложена в Директиве Совета ЕС о сближении законодательных регламентирующих и административных положений стран-членов ЕС, касающихся строительной продукции. CPD (Construction Product Directive) имеет цель установить для строительной продукции систему, которая, с одной стороны, заменит национальные технические условия и стандарты на евростандарты и, с другой стороны, послужит поручительством, что «...существующие и гарантированные уровни защиты прав потребителей в странах-членах ЕС не снизятся». Разработка этой системы началась в рамках специально созданной организации CEN. В области строительства и, в частности, строительных материалов, в настоящее время находятся в разработке или приняты

приблизительно 600 стандартов EN на строительную продукцию, а также 14000 сопутствующих стандартов, главным образом на методы испытаний. Например, EN 196 «Методы испытаний цемента», EN 480 «Добавки для бетонов и растворов. Методы испытаний», EN 12350 «Испытания бетонной смеси», EN 12390 «Испытания затвердевшего бетона», EN 12504 «Испытания бетона в конструкции» и т.д.

Данное пособие создавалось на основе использования собственного педагогического опыта авторов как результат переработки и некоторого дополнения курса лекций, читаемых студентам, обучающимся по направлению «Строительство» Пензенского государственного университета архитектуры и строительства.

В пособии содержится необходимый материал для освоения и закрепления знаний, полученных при изучении курса «Методы и средства измерений, испытаний и контроля», приводятся сведения о некоторых евростандартах в области измерения свойств строительных материалов.

ВВЕДЕНИЕ

Разработка, изготовление и эксплуатация строительных изделий и конструкций неизбежно связаны с выполнением большого числа измерений. Очевидно, что выбор методов и средств измерения в каждом конкретном случае должен обеспечивать получение требуемых показателей качества конечного результата. Таким образом, перед специалистом встает задача правильного выбора метода и средства измерений, должной организации измерительного эксперимента, обработки и представления результатов измерений в соответствии с действующими в этой области нормативными документами, широким применением различных форм и методов стандартизации.

В учебном пособии изложены основные сведения по современным средствам измерения свойств строительных материалов. Рассмотрены физические основы применения методов для контроля качества материалов. Дано краткое описание приборов, оборудования и образцов. Изложена методика проведения испытаний.

Издание предназначено для студентов, магистрантов и аспирантов строительных специальностей вузов.

1. ВИДЫ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

1.1. Виды и средства измерений

1.1.1. Классификация средств измерения

Средство измерения (СИ) – это техническое средство, предназначенное для измерений, имеющее нормированные метрологические характеристики, воспроизводящее и (или) хранящее единицу физической величины (ФВ), размер которой принимается неизменным (в пределах установленной погрешности) в течение известного интервала времени. Под метрологическими характеристиками (МХ) понимают такие характеристики СИ, которые позволяют судить об их пригодности для измерений в известном диапазоне с известной точностью. В отличие от СИ приборы или вещества, не имеющие нормированных МХ, называют индикаторами. СИ – это техническая основа метрологического обеспечения.

Классификация СИ по РМГ 29—99 приведена на рис. 1.1. Ниже приведены пояснения к классификации.

Меры – это СИ, воспроизводящие или хранящие физическую величину заданного размера. Меры могут быть однозначными, воспроизводящими одно значение физической величины (гиря, калибр на заданный размер, образцы твердости, шероховатости, катушка сопротивления, нормальный элемент, воспроизводящий значение ЭДС), и многозначными – для воспроизведения плавно или дискретно ряда значений одной и той же физической величины (измерительный конденсатор переменной емкости, набор конечных мер, магазин емкостей, индуктивности и сопротивления, измерительные линейки). Измерения методом сравнения с мерой выполняют с помощью специальных технических средств – компараторов (равноплечие весы, измерительный мост и т. д.). Иногда в качестве компаратора выступает человек, например, при измерении длины линейкой.

Измерительные преобразователи – СИ, предназначенные для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и хранения, но не доступной для непосредственного восприятия наблюдателем. Это термопары, измерительные трансформаторы и усилители, преобразователи давления. По месту, занимаемому в измерительной цепи, они делятся на первичные, промежуточные и т.п. Конструктивно они выполняются либо отдельными блоками, либо составной частью СИ. Не следует отождествлять измерительные преобразователи с преобразовательными элементами. Последние не имеют метрологических характеристик, как, например, трансформатор тока или напряжения.

Рис. 1.1. Классификация средств измерений

Измерительный прибор – средство, предназначенное для переработки сигнала измерительной информации в другие, доступные для непосредственного восприятия наблюдателем формы. Различают приборы прямого действия (амперметры, вольтметры, манометры) и приборы сравнения (компараторы).

По способу отсчета измеряемой величины средства измерений делятся на показывающие (аналоговые, цифровые), регистрирующие (на бумажную или магнитную ленту) и т. п.

Измерительная установка – совокупность функционально объединенных СИ и вспомогательных устройств, расположенных в одном месте, например, поверочные установки, установки для испытания электротехнических, магнитных и других материалов. Измерительная установка позволяет предусмотреть определенный метод измерения и заранее оценить погрешность измерения.

Измерительная система – это комплекс средств измерений и вспомогательных устройств с компонентами связи (проводные, телевизионные и др.), предназначенный для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для автоматической обработки, передачи и (или) использования в автоматических системах управления.

В отличие от измерительных установок, предусматривающих изменения режима и условий функционирования, измерительная система не воздействует на режимы работы, а предназначена только для сбора и (или) хранения информации. Частными случаями измерительной системы являются информационно-вычислительный комплекс (ИВК), информационно-измерительные системы (ИИС). К последним можно отнести системы автоматического контроля, системы технического диагностирования, системы распознавания образов, системы для передачи неизмерительной информации. При организации поверки рабочих СИ используют различные эталоны и образцовые СИ.

Средства измерения, как правило, работают совместно с датчиками (измерительными преобразователями), имеющими свои метрологические характеристики.

1.1.2. Выбор метода измерений

Метод измерений представляет собой прием или совокупность приемов применения средств измерений и характеризует совокупность тех физических явлений, на которых основаны измерения.

Основными методами измерений является метод непосредственной оценки и метод сравнения с мерой. Наибольшее распространение получил метод непосредственной оценки, при котором измеряемую величину определяют непосредственно по отсчетному устройству

средства измерений. Метод прост, не требует особых действий оператора и дополнительных вычислений. Основное внимание при измерениях этим методом уделяется используемым средствам измерений, так как они служат основными источниками погрешностей измерений. Это обусловливает необходимость тщательного выбора средств измерений, обеспечивающих высокую точность. Простота метода непосредственной оценки способствовала его автоматизации, что особенно важно при контроле качества продукции и поверке средств измерений.

Если необходимо выполнить точное измерение, применяют дифференциальный или нулевой метод. Эти методы являются разновидностью метода сравнения с мерой. Для них характерно существование высокочастотной меры, близкой к измеряемой величине, или наличие устройств, позволяющих воспроизводить любое значение известной величины без существенного понижения точности. Погрешность этих методов характеризуется в основном погрешностью используемой меры. Нулевой метод незаменим при оптической пирометрии – измерении высоких температур расплавленных или раскаленных металлов и пламени. Зрительную трубку пирометра с электрической лампой накаливания наводят на объект, температуру которого требуется измерить. Регулируя накал нити лампы, добиваются, чтобы её яркость стала равной яркости фона, тогда она сольётся с фоном и нить как бы исчезнет. После этого отсчитывают показания пирометра. Здесь существенную погрешность в измерения вносит оператор.

Нулевой метод используется также для измерения скорости электрического тока, напряжённости магнитного поля и т.д.

При измерении массы часто используют метод замещения, который даёт возможность уменьшить систематическую погрешность измерения на равноплечных весах. При линейных измерениях (в машиностроении, геодезии, метрологии, радиотехнике) применяется интерференционный метод, основанный на явлении интерференции, заключающемся в сложении двух когерентных колебаний с разными фазами. В практике точных измерений широкое распространение получил фотоэлектрический метод, позволяющий уменьшить погрешность наведения на штрих по сравнению с визуальным в 5–6 раз.

Существует ряд физических величин и параметров (например, малые перемещения или толщина материала, труднодоступные линейные размеры, быстроменяющиеся давления, давления взрывной волны), для измерения которых используют электрические методы измерения неэлектрических величин: тензометрический метод, индуктивный, ёмкостный, пьезоэлектрический и другие. В основе каждого из этих методов лежат физические явления: изменение сопротивления

проволоки под влиянием незначительных деформаций (тензометрический метод), изменение емкости конденсатора при малейших перемещениях пластин или при помещении между пластинами диэлектрика, толщину которого необходимо измерить (ёмкостный метод), изменение индуктивности катушки при малейших перемещениях её сердечника (индуктивный метод), возникновение электрических зарядов в кристаллах определённой конфигурации, подвергающихся растяжению, сжатию, вибрации и т.д. (пьезоэлектрический метод). Преобразованные в электрические сигналы линейные или механические величины могут быть переданы на большое расстояние по электрическим проводам или каналам радиосвязи.

Если рассмотренные методы не позволяют решить задачу измерения, прибегают к косвенным методам, что значительно расширяет диапазон измеряемых величин и возможности измерений. Знание функциональных связей между величиной, которую необходимо измерить, и величинами, возможность измерения которых не представляет труда, создает предпосылки для измерения, например, диаметров атомов, их ядер, элементарных частиц, оценки размеров планет и т. д.

Автоматизированные измерительные системы позволяют максимально уменьшить погрешность метода, практически ликвидировать погрешность оператора, так как эти функции выполняет сама система. Практически все автоматизированные измерительные системы имеют ЭВМ или дисплеи с выводами данных на ЭВМ и последующей их обработкой.

1.1.3. Принципы выбора средств измерений

1-й принцип. Выбор средств измерения по коэффициенту уточнения. Это самый простой способ, предусматривающий сравнение точности измерения и точности изготовления (функционирования) объекта контроля. Здесь предусматривается введение коэффициента уточнения K'_T (коэффициента закона точности) при известном допуске T и предельном значении $[\Delta_{изм}]$ погрешности измерения

$$K'_T = T / 2[\Delta_{изм}].$$

Величину, обратную K'_T, называют относительной погрешностью метода измерения

$$A_{мет} = 1 / K'_T.$$

Значения пределов допускаемых погрешностей [$\Delta_{изм}$] для линейных размеров задаются в зависимости от допусков и квалитета (табл. 1.1) как

$$[\Delta изм] = (0{,}20–0{,}35)T = \rho T.$$

Таблица 1.1

Зависимость ρ от диапазона допусков и квалитета

Квалитет	2–5	6–7	8–9	10–16
Средний коэффициент, ρ	0,35	0,30	0,25	0,20
Диапазон допусков, мкм	0,8–2,7	6–63	14–155	40–4000
Диапазон [$\Delta_{изм}$], ± мкм	0,25–10,00	2–19	3,5–39,0	8–800

Для линейных размеров указанное соотношение между [$\Delta_{изм}$] и T от 20 до 35 % соответствует K'_T = 2,5...1,4. При выборе СИ по величине K'_T необходимо иметь соответствующие справочные данные о погрешностях конкретных СИ. Тогда, если измеряемый размер попадает в стандартизованный интервал 0–500 мм, используют среднее значение $K'_{T_{ср}}$, а предел основной допустимой погрешности СИ находят как

$$\Delta_д = \frac{T/2}{1{,}3K'_{T_{ср}}} \geq \Delta_{си}$$

и из справочных данных выбирают ближайшее СИ с такой погрешностью.

2-й принцип. Выбор СИ с учётом безошибочности контроля и его стоимости осуществляется как метод оптимизации по критериям точности (классу точности γ или абсолютной предельной погрешности $\Delta_{си}$), его стоимости $C_{си}$ и достоверности измерения. Целевая функция G, определяющая максимум достоверности (минимум вероятности $P_{н.з} = P_1 + P_2$ неверного заключения) и минимум стоимости при оптимальном классе точности, имеет вид

$$G = \min[Д/Д_0 + C/C_0],$$

где $Д/Д_0$, C/C_0 – относительные значения соответственно достоверности измерения и стоимости СИ.

1.2. Методы и средства измерения массы строительных материалов

Для определения массы применяют весы. Различают весы аналитические, технические, торговые, почтовые, автомобильные и т.д. По принципу действия весы бывают рычажные, пружинные, торсионные, электромеханические.

Наибольшее распространение имеют весы рычажного типа, основная деталь которых – коромысло. Действие таких весов основано на законе равновесия рычага, когда сумма моментов сил относительно точки опоры для случая равновесия равна 0. Точка опоры коромысла находится посредине (равноплечные весы) или смещена относительно середины (разноплечные весы) Квадрантные весы – разновидность рычажных весов, в которых роль противовеса играет отклоняющийся груз (торговые циферблатные весы).

В лаборатории строительных материалов применяют почтовые, технические и аналитические весы.

Почтовые платформенные весы – весы с коромысловым шкальным указателем и пределом взвешивания от 2,5 до 50 кг, используют для взвешивания материалов и изделий большой массы, если при этом не нужна большая точность взвешивания. Массу тел с погрешностью до 1 г определяют на настольных торговых гирных и циферблатных весах.

Гирные весы. Относятся к рычажным равноплечим весам. Они могут быть с открытым и закрытым механизмом, с двумя съемными чашками (или грузоприемными площадками): одной – для гирь, другой – для груза. Гирные весы выпускают с пределами взвешивания: наибольшим от 2 до 20 кг и наименьшим – от 20 до 100 кг. К весам прилагается соответствующий набор гирь.

Циферблатные весы. Циферблатные весы с квадрантным механизмом выпускают марок ВЦП – 2, ВУП – 10 и ВЦП – 20. Тела с массой большей, чем максимальное значение шкалы циферблата, взвешивают с помощью дополнительных гирь, устанавливаемых на гиревую площадку.

Лабораторные технические весы. Основную часть взвешиваний в лабораториях производят на технических лабораторных весах, которые выпускают различных типов и марок с верхним пределом взвешивания от 20 г. до 50 кг при относительной погрешности – от 5 до 500 мг соответственно. Технические весы – прибор высокого класса точности, поэтому работа с ними требует предельной аккуратности и осторожности. По конструкции различают технические весы коромысловые двухчашечные и квадрантные с одной грузовой площадкой.

Технические коромысловые двухчашечные весы. На коромысле на призмах подвешены обоймы, соединенные тягами с чашками. Перед началом взвешивания проверяют весы и при необходимости их регулируют. Для этого винтами устанавливают отвес строго перпендикулярно. Затем, открыв арретир, проверяют уравновешенность весов: стрелка незагруженных весов должна указывать на нулевое деление шкалы или отклоняться (колебаться) от него на равные расстояния. Если это условие не выполняется, то перемещением (вращением) грузов стрелку приводят в нулевое положение. В нерабочем состоянии коромысло весов всегда должно быть установлено на опоры поворотом рукоятки арретира.

Технические квадрантные весы. Более удобны в работе, чем коромысловые, т.к. менее подвержены поломкам, не требуют разновеса и обеспечивают высокую скорость взвешивания. Значение массы взвешиваемого груза определяют по световой шкале примерно через 10 с после его наложения на чашку весов. Груз, помещенный на чашку весов, через призму давит на левое (меньшее) плечо рычага, заставляя отклоняться тяжелый груз (квадрант). Изменение положения рычага фиксируется шкалой, с которой световым пучком с помощью системы зеркал показания передаются на экран в увеличенном виде.

Квадрантные весы выпускают марок ВЛТК – 20 г, ВЛТК – 500 г, ВЛТК – 2 кг и ВЛТК – 5 кг с погрешностью взвешивания соответственно не более 10 и 100 мг, 1 и 10 г.

Лабораторные аналитические весы. Такие весы применяют для особо точных взвешиваний при количественном химическом анализе, а также при испытании образцов малой (менее 1 г) массы. Аналитические весы марки ВЛА – 200 г – М позволяют взвешивать навески до 200 г с погрешностью не более 0,1 мг, а микроаналитические ВЛМ – 1 г – навески до 1 г с погрешностью не более 0,01 мг.

Большинство аналитических весов по принципу действия аналогичны техническим коромысловым весам, но отличаются большей точностью изготовления, способом нагружения малым разновесом с помощью гирь-рейтеров и наличием демпферов – механизмов, гасящих колебание коромысла. Работа с аналитическими весами требует специальных навыков и строжайшего соблюдения правил взвешивания, поэтому к ней допускаются лица, прошедшие специальную подготовку.

Перед взвешиванием определяют минимальную точность взвешивания.

1.3. Методы и средства измерения геометрических размеров

Изготовление изделий связано с обработкой материалов по заданным размерам, форме и качеству поверхности. При этом качество изделий контролируется средствами измерения геометрических величин. По принятой классификации к технике измерения геометрических величин относят измерения длин и углов, отклонений размеров, формы и расположения поверхностей, параметров конусов.

Область линейно-угловых измерений характеризуется огромным числом измерительных задач и объектов измерения. Так, измерения отклонений формы и расположения поверхностей включают в себя измерения параметров шероховатости, отклонений от параллельности, отклонений от перпендикулярности, эксцентриситетов и т.п. Множество измерительных задач возникает и при контроле качества поверхности изделий. Одно из главных мест в линейно-угловых измерениях занимает измерение длины. Диапазон задаваемых линейных размеров здесь простирается от долей микрометра (при измерении микронеровностей поверхности) до десятков миллиметров (в электронике) и метров (в машиностроении).

Методы и средства измерения геометрических величин подразделяют на несколько групп, основными из которых являются группы механических и оптико-механических приборов. При проведении этих измерений на результат измерения значительное влияние оказывают температура окружающей среды, атмосферное давление, влажность, вибрация и т.д. Для того чтобы избежать дополнительных погрешностей, вызываемых условиями, при которых выполняют измерения, Государственным стандартом установлены следующие требования производства линейных и угловых измерений:

– температура окружающей среды 20 °С;
– атмосферное давление 101324,72 Па (760 мм рт. ст.);
– относительная влажность окружающего воздуха 58 %;
– ускорение свободного падения 9,8 м/с^2;
– направление линии измерения линейных размеров до 160 мм наружных поверхностей – вертикальное, в остальных случаях – горизонтальное;
– относительная скорость измерения углов равна нулю.

Стандартом также установлено, что результаты измерений для сопоставимости должны приводиться к указанным нормальным значениям влияющих величин. Пределы допускаемых отклонений от

нормальных условий измерения нормированы в стандартах для различных видов измерений.

Большое значение для точности линейных и угловых измерений имеет поддержание стабильной нормальной температуры в зоне измерения. Во избежание дополнительных погрешностей рекомендуется выдерживать измеряемые изделия при нормальной температуре от 2 до 36 ч в зависимости от их массы и допусков на линейные размеры. Средства же измерений должны находиться в условиях, соответствующих указанным в стандартах, не менее 24 ч до начала измерений.

Изготовление изделий микроэлектроники, оптоэлектроники и вычислительной техники связано с обработкой материалов по заданным размерам, форме и качеству поверхности. Диапазон задаваемых линейных размеров широкий – от долей микрометра (при измерениях микронеровностей поверхности) до десятков миллиметров. Измерение геометрических размеров, формы и показателей качества поверхности осуществляется с помощью средств линейных и угловых измерений. Эти средства подразделяются на несколько групп, основными из которых являются группы механических и оптико-механических приборов.

1.3.1. Средства измерения длины

1.3.1.1. Механические средства измерения длины

К механическим средствам измерения длины общего назначения относятся штангенприборы, штриховые и концевые меры длины, микрометрические приборы и измерительные головки.

Штриховые меры длины. Меры, у которых размер, выраженный в единицах длины, определяется расстоянием между осями двух соответствующих штрихов. Штриховыми мерами являются измерительные линейки, рулетки, бруски (брусковые штриховые меры).

Брусковые штриховые меры длины представляют собой металлические или стеклянные бруски различного сечения с нанесенными на них штрихами или шкалами. Эти меры применяются как для непосредственного измерения линейных размеров, так и в качестве шкал приборов и станков.

Основные типы, параметры и размеры брусковых штриховых мер стандартизованы. Промышленностью выпускаются брусковые меры с номинальной длиной 60–2000 мм. Допускаемые отклонения от номинальной длины нормируются шестью классами точности, обозначаемыми условно цифрами от 0 до 5. Наименьшая цена деления брусковых мер длины 0,01 мм.

Плоскопараллельные концевые меры длины (ПКМД). Воспроизводят единицу длины одного фиксированного размера и выполняются в виде прямоугольного параллелепипеда из стали или твердого сплава с двумя взаимно параллельными измерительными поверхностями. Расстояние между измерительными поверхностями определено с высокой точностью и известно. Измерительные поверхности отличаются от других поверхностей меры малой шероховатостью, благодаря чему ПКМД обладают свойством притираемости, т.е. способностью измерительной поверхности одной меры плотно сцепляться с измерительной поверхностью другой меры. Притираемость обусловлена силами молекулярного взаимодействия поверхностей.

ПКМД выпускаются в наборах с числом мер разного номинала от 10 до 112. Номинальные значения мер стандартизованы, поэтому притираемость мер позволяет собрать из них блок необходимой длины (от 0,1 до 1000 мм).В зависимости от точности изготовления ПКМД относят к классам точности 00; 01; 0; 1; 2; 3.

Перед притиркой выбранные для составления блока меры очищают от смазки, промывают бензином и вытирают насухо чистой салфеткой. После этого прикасаться руками к измерительной поверхности нельзя. Подготовленные таким образом меры притирают путем прикладывания или надвигания одной меры на другую. Для удобства пользования мерами к наборам ПКМД поставляются наборы принадлежностей.

Линейки металлические измерительные. Линейки должны изготовляться со следующими пределами измерений: 150; 300; 500; 1000; 1500; 2000; 3000 мм. Линейки должны изготовляться с двумя шкалами, с одной шкалой, а также с двумя шкалами, оцифровка которых направлена в противоположные стороны. Основные размеры линеек, штрихов и числовых обозначений должны соответствовать указанным в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Характеристика линеек

Наименование основных размеров, мм	Пределы измерений	
	До 500	До 3000
Ширина линеек	18,0–22,0	36,0–40,0
Толщина линеек	0,4–0,6	0,8–2,0
Длина миллиметровых штрихов, не менее	3,5	5,0
Длина полусантиметровых штрихов, не менее	5,0	7,0
Длина сантиметровых штрихов, не менее	6,5	9,0
Высота числовых обозначений, не менее	3,0	3,0
Ширина штрихов	0,20±0,05	0,20±0,05

Разница в длине миллиметровых, полусантиметровых и сантиметровых штрихов должна быть не менее 1,5 мм. Разноразмерность

длины одноименных штрихов, а также высоты числовых обозначений не должна превышать 0,5 мм.

Пример условного обозначения измерительной линейки с пределом измерения 300 мм:

Линейка — 300 ГОСТ 427—75.

То же, с пределом измерения 1000 мм с двумя шкалами:

Линейка — 1000 д ГОСТ 427—75.

Началом шкалы линейки должна быть торцовая грань, перпендикулярная к продольному ребру линейки. Линейки за последней сантиметровой отметкой шкалы должны иметь не менее пяти добавочных миллиметровых делений. Закругленный конец линейки должен иметь для подвешивания отверстие диаметром не менее 5 мм для линеек с пределами измерений 150, 300 и 500 мм и не менее 8 мм для линеек с пределом измерения 1000 мм и более. Линейки с пределом измерения 1000 мм и более с двумя шкалами должны иметь вторую торцовую грань, перпендикулярную к продольному ребру линейки, и не должны иметь добавочных миллиметровых делений.

Торцовая грань или торцовые грани, служащие началом линейки, должны быть прямолинейны и перпендикулярны к продольному ребру линейки. Отклонение от перпендикулярности не должно превышать $\pm 10^7$. Отклонение от прямолинейности торцовой грани не должно превышать 0,04 мм для линеек с пределами измерений 150, 300 и 500 мм и 0,08 мм для линеек с пределом измерения 1000 мм и более.

Каждый сантиметровый штрих шкалы линейки должен иметь числовое обозначение, указывающее расстояние в сантиметрах до этого штриха от начала шкалы.

При наличии двух шкал сантиметровые штрихи обеих шкал обозначаются:

– одним рядом цифр;

– двумя рядами цифр, каждый из которых направлен от начала шкалы.

Линейки изготавливают из стальной холоднокатаной термообработанной ленты с полированной поверхностью группы прочности 1П и 2П по ГОСТ 21996—76.

Штангенприборы. К ним относят средства линейных измерений, объединенные общим принципом построения отсчетных устройств, основанным на применении линейного нониуса. В зависимости от назначения различают штангенциркули, штангенглубиномеры, штангенрейсмусы.

Штангенциркуль – универсальное средство измерения длины, диаметров валов и отверстий, глубины отверстий и расстояний между центрами отверстий.

Штангенглубиномер предназначен для измерения глубины отверстий, пазов и т.п.

Штангенрейсмус – средство измерения высотных размеров изделий.

Принцип построения нониуса заключается в совмещении соответствующих штрихов двух линейных шкал, интервалы деления которых отличаются на определенную величину. В общем случае штангенприбор (рис. 1.2) состоит из штанги 1 с неподвижной измерительной губкой и рамки 2, перемещающейся по штанге, с другой измерительной губкой. На штанге нанесена шкала с ценой деления 1 мм. На скосе рамки нанесена вспомогательная шкала 5, называемая нониусом, с ценой деления 0,9 мм, по которой отсчитываются дробные доли миллиметра.

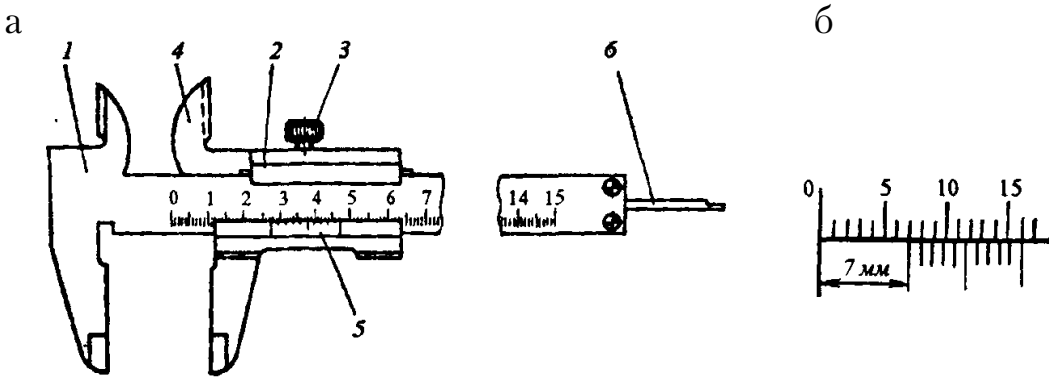


Рис. 1.2. Штангенприбор:
а – общий вид; б – нониус

Для фиксирования рамки на рабочей части штанги служит винт 3. Рамка жестко связана с линейкой глубиномера 6. Верхние губки 4 предназначены для измерения внутренних размеров, а нижние – наружных.

При совмещении нулевой отметки шкалы нониуса с нулевой отметкой шкалы штанги, первая за нулевой отметка шкалы нониуса оказывается смещенной относительно первой отметки шкалы штанги на 0,1 мм, соответственно вторая отметка шкалы нониуса будет смещена на 0,2 мм, а десятая – на 1 мм, т.е. последняя отметка шкалы нониуса точно совпадает с отметкой 0,9 мм на шкале штанги.

Если при измерении размера шкала нониуса располагается так, что одна из отметок нониуса (не нулевая) совпадает с какой-либо отметкой шкалы штанги (не нулевой), то результат измерения определяется как

сумма отсчетов по шкале штанги и произведения разности цены деления шкал штанги и нониуса на номер деления шкалы штанги, с которым совпала отметка нониуса. Так, измеренное значение на рис. 1.2,б будет равно l=7+0,1·1 =7,1 мм. Таким образом, с помощью нониуса можно произвести отсчет размера с точностью до 0,1 мм. В штангенприборах часто применяется растянутый нониус, обеспечивающий отсчет размера до 0,05 мм.

В некоторых современных моделях штангенприборов вместо нониуса применяются индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм.

Микрометрические приборы (микрометры, микрометрические глубиномеры, микрометрические нутромеры) являются более точными, чем штангенприборы. Принцип действия микрометрических приборов основан на преобразовании вращательного движения точного микрометрического винта, установленного в неподвижную гайку, в его поступательное движение вдоль оси. Большинство микрометрических приборов имеет винт с шагом 0,5 мм, поэтому поворот винта в гайке на 360° приводит к его перемещению вдоль оси на 0,5 мм.

Микрометр (рис. 1.3) состоит из скобы 1, с одной стороны которой запрессована неподвижная пятка 2, а с другой укреплена микрометрическая головка, состоящая из стебля 5, барабана 6 в сборе с микровинтом 3 и механизмом трещотки 7. При вращении барабана стебель совершает поступательное движение и приводится в контакт с измеряемым объектом. Механизм трещотки обеспечивает при этом постоянство измерительного усилия. Винт 4 фиксирует положение микровинта. Перемещение микровинта отсчитывается по двум шкалам: одной, нанесенной по длине стебля, и второй, нанесенной по окружности барабана. Деления на стебле нанесены через 0,5 мм, а на шкале барабана имеется 50 отметок. Таким образом, одно деление шкалы барабана соответствует перемещению микровинта на 0,5/50 = 0,01 мм.

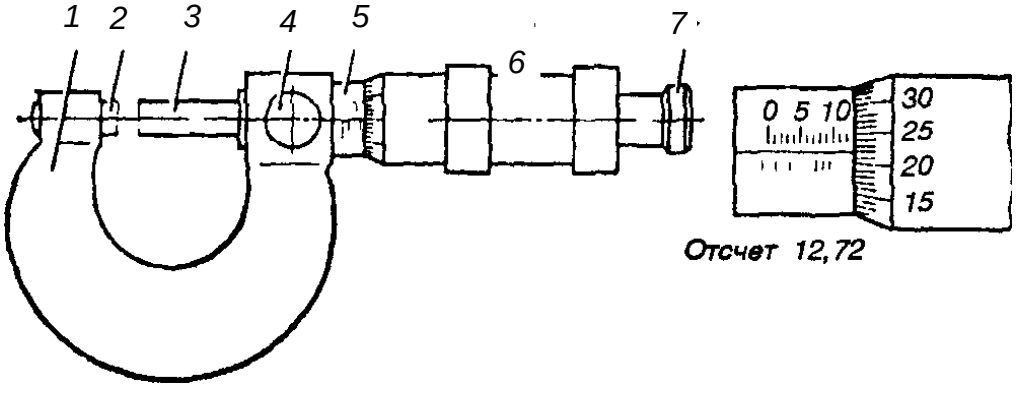


Рис. 1.3. Микрометр

Для микрометрических приборов установлено два класса точности (1 и 2). Предельно допускаемая погрешность микрометрических приборов зависит от диапазона измерения. Так, для микрометров с пределами измерения 0–25 мм, класса точности 1, погрешность прибора не превышает ±0,002 мм, а у микрометров для измерения длин в диапазоне 400–500 мм, не превосходит ±0,005 мм.

Для измерений линейных размеров прецизионных деталей микроэлектроники и точного приборостроения выпускается настольный микрометр с цифровым электронным отсчетом, обеспечивающий измерения размеров в диапазоне 0–10 мм с погрешностью не более ±0,002 мм.

Микрометры МК. Предназначены для наружных измерений. Цена деления 0,01 мм. Измерительное перемещение микрометрического винта 25 мм. Верхний предел измерений 600 мм.

К микрометрам с нижним пределом 25 мм и более придаются установочные меры для проверки нулевого положения. Микрометры с верхним пределом свыше 300 мм имеют сменную или передвижную пятку для увеличения диапазона измерений до 100 мм. Трещотка обеспечивает постоянное измерительное усилие. В микрометрических инструментах используется винтовая пара, где продольное перемещение винта прямо пропорционально шагу резьбы и углу поворота винта. За один оборот микрометрический винт перемещается вдоль оси на шаг резьбы (0,5 мм). Барабан разделен по окружности на 50 равных частей. Цена деления микрометрических инструментов 0,01 мм. При повороте на одно деление микрометрический винт 2, соединенный с барабаном 1, перемещается вдоль оси на 1/50 шага, т.е. 0,5 мм (50=0,01 мм), что является ценой деления микрометра.

Целое число миллиметров и половину миллиметра отсчитывают краем скоса барабана по шкале стебля. Сотые доли миллиметра определяют по порядковому номеру штриха барабана, совпадающего с продольным штрихом стебля.

При соприкосновении измерительных поверхностей микрометра с измерительными поверхностями установочной меры или непосредственно между собой (при пределах измерения 0–25 мм) нулевой штрих барабана должен совпадать с продольным штрихом стебля, а скос барабана должен открывать нулевой штрих стебля.

Перед измерением протирают измерительные поверхности и устанавливают микрометр на размер, немного превышающий проверяемый; слегка прижимают пятку к проверяемой поверхности; доводят с помощью трещотки микровинт до соприкосновения с измеряемой поверхностью; покачиванием проверяют отсутствие перекоса; стопорят микровинт и читают показание.

Микрометр с циферблатом МЛ. Микрометр с циферблатом предназначен для измерения толщины листового материала, для чего имеет удлиненную скобу. Диапазон измерений:0–5, 0–10 и 0–25 мм. При шаге микрометрического винта 0,5 мм циферблат имеет 50 делений. При шаге микрометрического винта 1 мм циферблат имеет 100 делений.

Микрометр с вставками МВП. Микрометр предназначен для измерения мягких материалов. Диаметр вставок 12 мм.

Микрометры настольные (микрометр горизонтальный МГ). Диапазон измерений составляет 0–20 мм, величина перемещения – на 10 мм, измерительная пятка перемещается на 10 мм.

Микрометр вертикальный МВ. Диапазон измерений 0–10 мм.

Микрометрический глубиномер. Верхний предел измерений микрометрического глубиномера МГ 100 и 150 мм устанавливается с помощью сменных измерительных стержней. Широкая измерительная поверхность основания и сменные измерительные стержни малого сечения обеспечивают устойчивость и возможность производить измерения глубин в отверстиях и пазах небольших размеров. При ввинчивании микровинта микрометрического глубиномера показания не уменьшаются, как у микрометра, а увеличиваются. Поэтому цифры на шкале стебля и барабана указаны в обратном порядке: на стебле увеличиваются справа налево, а на барабане – по часовой стрелке.

Микрометрический нутромер. Микрометрические нутромеры НМ изготовляются с пределами измерений: 50–70, 75–175, 75–600, 150–1250, 800–2500, 1250–4000, 2500–6000 мм. Из величины проверяемого размера вычитают величину нижнего предела измерения микрометрической головки с наконечником. Затем выбирают удлинения по размерам, обеспечивающим их наименьшее количество (от большего к меньшему). Сумма нижнего предела измерения микрометрической головки с наконечником и удлинителей должна быть меньше требуемого размера, но не более чем разность между пределами измерения микрометрической головки.

При измерении цилиндрического отверстия линия измерения должна быть наибольшим размером в плоскости, перпендикулярной оси отверстия, и наименьшим размером в плоскости, проходящей через ось. При измерении расстояния между параллельными плоскостями правильное положение измерительных поверхностей (отсутствие перекоса) обеспечивает наименьшие (точные) показания. Правильное положение микрометрического нутромера находят его покачиванием при контрактировании измерительных поверхностей с деталью.

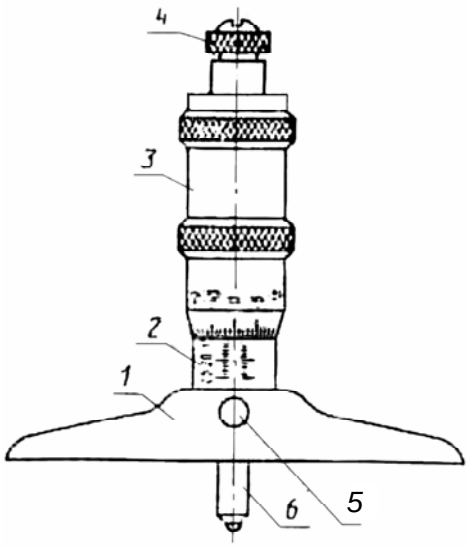
После окончания работы у микрометрических инструментов надо ослабить стопор и микрометрический винт, протереть инструмент, смазать антикоррозионным составом и уложить в футляр.

Глубиномеры микрометрические (рис. 1.4)**.** Глубиномеры изготавливают с отсчетом по шкалам стебля и барабана (ГМ) (рис. 1.4, а) или с отсчетом по электронному цифровому устройству и шкалам стебля и барабана (ГМЦ) (рис. 1.4, б).

Диапазоны измерений глубиномеров следующих типов могут быть:

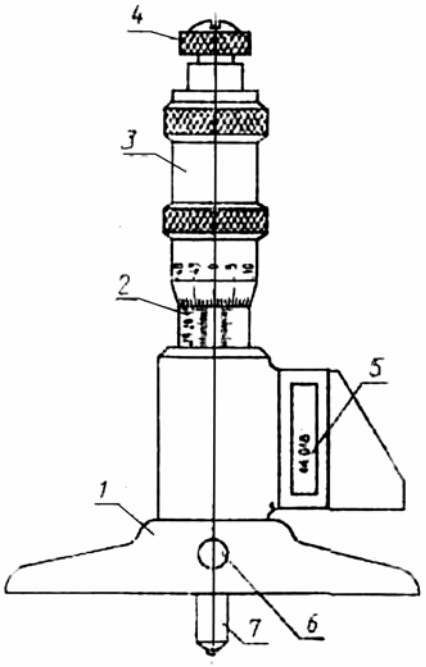
ГМ25 и ГМЦ25	от 0 до 25 мм;
ГМ50 и ГМП5О	от 0 до 50 мм;
ГМ75 и ГМЦ75	от 0 до 75 мм;
ГМ1100 и ГМЦ100	от 0 до 100 мм;
ГМ150 и ГМЦ150	от 0 до 150 мм;
ГМ300	от 0 до 300 мм.

а



1 – основание, 2 – стебель, 3 – барабан, 4 – трещотка (фрикцион), 5 – стопор, 6 – измерительный стержень

б



1 – основание, 2 – стебель, 3 – барабан, 4 – трещотка (фрикцион), 5 – табло цифрового устройства, 6 – стопор, 7 – измерительный стержень

Рис. 1.4. Глубиномеры

Технические характеристики глубиномеров

Цена деления шкалы барабана глубиномера — 0,01 мм.

Шаг дискретности цифрового устройства — 0,001 мм.

Длина и ширина основания — не более 100х25 мм.

Шаг микрометрического винта — 0,5 мм.

Измерительное перемещение микрометрического винта — 25 мм.

Диаметр измерительного стержня—не более 5 мм.

Измерительное усилие глубиномера — от 3 до 7 Н.

Глубиномеры типа ГМЦ изготавливают со встроенным цифровым устройством или с выводом результата измерения на внешние устройства. Электрическое питание глубиномеров типа ГМЦ с встроенным цифровым устройством должно быть от автономного встроенного источника питания.

Глубиномеры с верхним пределом измерения до 150 мм изготавливают классов точности 1 и 2, а свыше 150 мм — класса точности 2.

Пример условного обозначения глубиномера с отсчетом по шкалам стебля и барабана при диапазоне измерения от 0 до 100 мм класса точности 2:

Глубиномер ГМ 100–2 ГОСТ 7470–92.

То же глубиномера с цифровым устройством при диапазоне измерения от 0 до 150 мм класса точности 1:

Глубиномер ГМЦ150–1 ГОСТ 7470–92.

Предел допускаемой погрешности глубиномеров (в пределах перемещения микрометрического винта) при температуре окружающей среды (20±5)°С и нормируемом измерительном усилии, а также при зажатом или отпущенном стопоре должен соответствовать указанному в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Характеристика глубиномеров

Диапазон измерений, мм	Предел допускаемой погрешности глубиномеров классов точности, мкм	
	1	2
0–25	±2	±4
25–50	±3	±4
50–100	±3	±5
100–150	±4	±6
150–200	–	±8
200–250		±9
250–300		±10

Настройка глубиномеров должна проводиться с помощью установочных мер. Глубиномеры имеют трещотку (фрикцион) или другое устройство, обеспечивающее измерительное усилие, а также стопорное устройство для закрепления микрометрического винта. При зажатом

стопоре микрометрический винт не должен перемещаться под действием устройства, создающего измерительное усилие.

Конструкция глубиномера обеспечивает возможность установки на нулевой отсчет. При нулевом отсчете начальный штрих шкалы стебля должен быть виден целиком. На стебле глубиномера нанесена шкала с продольным штрихом с миллиметровыми и полумиллиметровыми делениями. Коническая часть барабана разделена на 50 делений. Начальные штрихи на шкалах и штрихи, соответствующие каждому пятому миллиметру на шкале стебля и каждому пятому миллиметру на шкале барабана, должны быть удлиненными и оцифрованными.

Штангенрейсмусы. Штангенрейсмусы изготавливаются следующих типов (ГОСТ 164—90):

ШР – с отсчетом по нониусу;

ШРК – с отсчетным устройством, имеющим круговую шкалу;

ШРЦ – с электронным цифровым отсчетным устройством.

Диапазон измерений, значение отсчета по нониусу, цена деления круговой шкалы и шаг дискретности цифрового отсчетного устройства, а также классы точности штангенрейсмусов должны соответствовать данным, приведенным в табл. 1.4.

Таблица 1.4

Характеристики штангенрейсмусов

Диапазон измерений, мм	Значение отсчета по нониусу, мм	Цена деления круговой шкалы отсчетного устройства, мм	Шаг дискретности цифрового отсчетного устройства классов точности 1 и 2, мм
0–250	0,05	0,02; 0,05	0,01
40–400		0,05	
60–630 100–1000	0,05; 0,10		
600–1600 1500–2500	0,10	–	–

Пример условного обозначения штангенрейсмуса типа ШР с диапазоном измерения 0–250 мм и значением отсчета по нониусу 0,05 мм:

Штангенрейсмус ШР–250 – 0,05 ГОСТ 164–90. То же, штангенрейсмуса типа ШРК с диапазоном измерения 0—250 мм и ценой деления круговой шкалы 0,02 мм:

Штангенрейсмус ШРК–250 – 0,02 ГОСТ 164–90

То же штангенрейсмуса типа ШРЦ с диапазоном измерения 0–250 мм и шагом дискретности 0,01 мм:

Штангенрейсмус ШРЦ–250 – 0,01 ГОСТ 164–90.

Штангенрейсмусы изготавливают с микрометрической подачей рамки.

Длину нониуса выбирают из следующего ряда:

9; 19; 39 мм—при значении отсчета по нониусу 0,1 мм;

19; 39 мм—при значении отсчета по нониусу 0,05 мм.

Предел допускаемой погрешности штангенрейсмусов должен соответствовать указанному в табл. 1.5.

Таблица 1.5

Погрешности штангенрейсмусов

Измеряемая длина	Предел допускаемой погрешности штангенрейсмусов (±)					
	Со значением отсчета по нониусу		С ценой деления круговой шкалы отсчетного устройства		С шагом дискретности цифрового отсчетного устройства	
	0,05	0,10	0,02	0,05	Для классов точности	
					1	2
До 250	0,05	0,05	0,03	0,05	0,03	0,05
Св. 250 до 400					0,04	0,06
Св. 400 до 630		0,10	–	0,10	0,05	0,07
Св. 630 до 1000	0,10				0,07	0,09
Св. 1000 до 1600	–	0,15		–	–	
Св.1600 до 2500		0,20				

Допуск прямолинейности измерительных поверхностей разметочной и измерительной ножек составляет 0,004 мм. По краям плоских измерительных поверхностей в зоне шириной не более 0,5 мм допускаются завалы. Измерительные плоскости разметочной и измерительной ножек должны быть параллельны основанию штангенрейсмуса. При сдвигании ножки до соприкосновения с поверочной плитой или с установленными на плиту плоскопараллельными концевыми мерами длины, соответствующими нижнему пределу измерения штангенрейсмуса, просветы между поверхностью ножки и плитой или концевыми мерами при незатянутом и затянутом зажимах рамки не должны превышать 0,010 мм — при значении отсчета по нониусу 0,05 мм, цене деления круговой шкалы 0,02 и 0,05 мм и шаге дискретности 0,01 мм; 0,015 мм — при значении отсчета по нониусу 0,1 мм. При этом для штангенрейсмусов с отсчетом по нониусу нулевые штрихи шкал нониуса и штанги должны совпадать.

Штангенрейсмусы имеют устройство для зажима рамки, обеспечивающее ее стопорение в любом положении в пределах диапазона измерений. Конструкция штангенрейсмусов типа ШР допускает воз-

можность регулировки нониуса. Измерительная поверхность разметочной ножки изготавливается из твердого сплава.

Оптические длиномеры. Оптические измерители длины в зависимости от расположения образца при измерении делятся на вертикальные (ИЗВ-1) и горизонтальные (ИЗВ-2). Эти виды измерителей деформаций позволяют измерять образцы длиной 120—250 мм с точностью до четвертого знака после запятой. Для измерения в образцы при их изготовлении должны вставляться реперы: в торцы образца — для вертикального длиномера, в продольную грань – для горизонтального. Возможна заделка реперов и в затвердевшие образцы. В качестве реперов применяются стальные шарики и иглы, пластмассовые и стеклянные призмы, тетраэдры и т. д. Для измерения на горизонтальном компараторе образец укладывается на подвижный столик прибора, после чего совмещается крест нитей репера с крестом нитей микроскопа. Затем перемещают столик с образцом до совмещения креста нитей второго репера с крестом нитей микроскопа. По специальной шкале берется отсчет для определения расстояния между реперами.

Щупы. Щупы предназначены для определения величины зазора между двумя поверхностями контактным методом. Щуп представляет собой стальную с параллельными плоскостями пластинку определенной толщины. Щупы комплектуются в наборы, в которых закрепляются в обойму в порядке возрастания их толщины. Существуют четыре номера наборов, толщина щупов в которых ограничена диапазоном 0,02–1 мм.

Щупы длиной 100 мм имеют следующие номинальные размеры:

Набор № 1 (9 щупов) – 0.02; 0.03; 0.04; 0.05; 0.06; 0.07; 0.08; 0.09; 0.1 мм;

Набор № 2 (17 щупов) – 0.02; 0.03; 0.04; 0.05; 0.06; 0.07; 0.08; 0.09; 0.1; 0.15; 0.2; 0.25; 0.3; 0.35; 0.4; 0.45; 0.5;

Набор № 3 (10 щупов) –0.55; 0.6; 0.65; 0.7; 0.75; 0,8; 0.85; 0.9; 0.95; 1 мм;

Набор № 4 (10 щупов) –0.1; 0.2; 0.3; 0.4; 0.5; 0.6; 0.7; 0.8; 0.9; 1 мм.

1.3.1.2. Рычажно-механические приборы

Рычажно-механические приборы предназначены для контроля линейных размеров и отклонений формы и расположения поверхностей. Главным образом эти приборы используют для относительных измерений.

Индикаторы часового типа. Из рычажно-механических приборов наиболее широко применяются индикаторы часового типа. При помощи стрелочных индикаторов возможно практически замерять линейные деформации образцов и изделий любого размера; последний определяется лишь габаритами штатива или подобного приспособления.

Индикаторы часового типа позволяют производить измерения с точностью до сотых и тысячных долей миллиметра. Для производства измерений в торцы изделий должны заделываться реперы, как правило, стальные шарики диаметром около 8 мм или конические стальные, бронзовые, или полимерные реперы.

Индикаторы часового типа (рис. 1.5) с ценой деления 0,01 мм являются наиболее распространенными измерительными головками. Они предназначены для работы в цеховых условиях при выполнении измерительных и контрольных операций. Принцип действия индикатора основан на преобразовании с помощью рычажно-зубчатой передачи линейных перемещений измерительного стержня в угловое перемещение стрелок. Лицевую сторону индикатора образует круговая шкала с ценой деления 0,01 мм (всего 100 делений) и малая шкала с ценой деления 1 мм. Передаточное отношение рычажно-зубчатой передачи подобрано так, что перемещение измерительного стержня на 1 мм вызывает поворот малой стрелки на одно деление. Таким образом, при измерении отсчет по малой шкале дает перемещение измерительного стержня в миллиметрах, а сотые доли миллиметра отсчитываются по большой шкале.

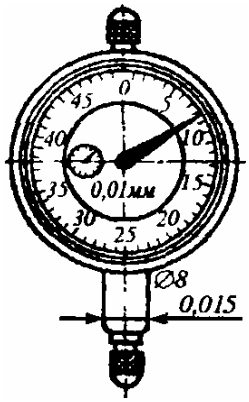


Рис. 1.5. Индикатор часового типа

Пределы измерения индикаторов определяются ходом измерительного стержня. Выпускаются индикаторы часового типа с пределами измерения от 0–2 мм до 0–25 мм. Допускаемая погрешность индикаторов нормирована двумя классами точности (0 и 1). Погрешность индикатора класса точности 0 с пределами измерения 0–2 мм не превосходит ±10 мкм, а индикатора того же класса с пределами измерения 0–25 мм – не превышает ±22 мкм. Для закрепления индикаторов и установки измеряемых изделий поставляются вспомогательные приспособления: стойки, штативы, кронштейны.

Для повышения точности измерения применяют многооборотные индикаторы, измерительный механизм которых обеспечивает получение цены деления 0,001 и 0,002 мм. Для измерений длины образец вставляется и центрируется в штативе и ножка индикатора доводится до соприкосновения с репером. На шкале индикатора снимаются показания линейных размеров образца. При больших размерах образцов или изделий индикаторы устанавливаются в специальных держателях, закрепленных (забетонированных) в образце, или крепятся в хомутах, одеваемых на образец. Определяется изменение длины между фиксированными точками.

Дилатометры. Дилатометры позволяют измерять с очень высокой точностью изменение линейных размеров образцов в широком диапазоне температуры и влажности. Современные дилатометры характеризуются чувствительностью до $2–10^{-5}$ мм и диапазоном температур от 900–1100° до –70–(–80°). Образец исследуемого материала (H = 30...50 мм, D = 15...30 м) устанавливается в термостат, где за счет нагревателей и подачи жидкого азота или других хладоагентов поддерживается заданная температура. Линейные деформации образца воспринимаются кварцевым стержнем-толкателем, передающим их на измерительные устройства. В качестве последних применяют индикаторы часового типа с ценой деления 0,001 мм или специальные магнитооптические системы высокой чувствительности.

Интерференционные дилатометры. В интерференционном дилатометре для измерения используется интерференция света. Сущность метода заключается в следующем: образец перед измерениями подгоняется по длине так, чтобы наложение отраженных от двух полированных плоскостей пучков света создавало интерференционные полосы удобной ширины. Деформация образца изменяет расстояние между полированными поверхностями, что вызывает смещение интерференционной картины. Можно уверенно измерять смещение картины на 0,1 полосы, что соответствует изменению расстояния между полированными плоскостями на $(2–3)\cdot10^{-5}$ мм. Разработан ряд вариантов интерференционных дилатометров для серийного производства.

К достоинствам интерференционного дилатометра следует отнести еще и то, что образец в нем в зависимости от типа прибора или нагружен только собственным весом, или несет небольшую дополнительную нагрузку.

Схема работы интерференционного дилатометра, в котором образец нагружен в основном только собственным весом, приведена на рис. 1.6. Образец 3, имеющий на основании по три противолежащих ножки, стоит на кварцевой плоскости 10 интерферометра. На верхних ножках образца лежит плоскопараллельное (до $1/4\lambda$) кварцевое зеркало 8, заматированное снизу в средней части и дающее поэтому одно отражение.

Кварцевое кольцо 9 в трех точках касается поверхности основания интерферометра. Кварцевая крышка 7, покоящаяся па трех точках на кольце, шлифована слегка на клин. Его точная нижняя плоскость образует в отраженном свете одну систему полос с плоскостью 8. Интерферометр устанавливается на столике из стеатита 11, который опирается на три зубца алундовой трубки, закрепленной вне нагревательного пространства в центрирующий винтовой патрон. Патрон

крепится к массивной шиферной плите, лежащей на консолях. Металлический диск 1 с прорезями для зубцов трубы, находясь под столиком интерферометра, выравнивает температуру в поперечном направлении. Вдоль оси образца температуру выравнивает защитный медный колпачок 2. Симметричный металлический диск 5 находится над интерферометром. В центре его расположено оправленное во втулку из стеатита расположено кварцевое окошко, закрывающее узкую трубку 6, через которое ведется наблюдение. Печь, сделанная из толстостенной медной трубы длиною 300 мм и диаметром внутри 50 мм, по направляющим надевается на интерферометр.

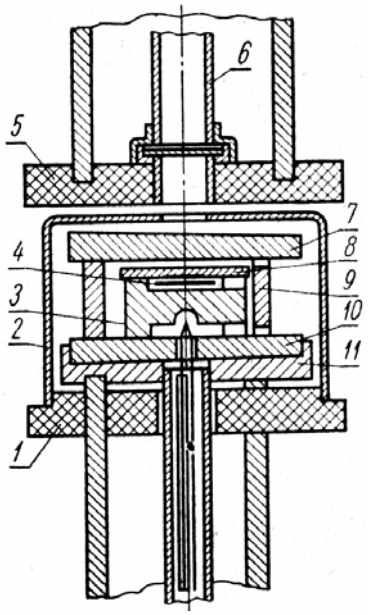


Рис. 1.6. Схема устройства интерференционного дилатометра, в котором образец нагружен в основном только собственным весом:
1 – нижний металлический диск; 2 – защитный медный колпачок; 3 – исследуемый образец; 4 – экран; 5 – верхний металлический диск; 6 – трубка; 7 – кварцевая крышка, шлифованная на клин; 8 – кварцевое зеркало; 9 – кварцевое кольцо; 10 – кварцевая плоскость интерферометра; 11 – столик из стеатита

Измерение удлинения ведется визуально с помощью трубы с винтовым окулярным микрометром. Полосы отсчитываются относительно репера, нанесенного на нижнюю плоскость крышки 7. Источником света служит устройство, позволяющее использовать для работы линию спектра ртути с длиной волны $\lambda = 5461$ Å.

Температура измеряется платино-платинородиевым термоэлементом. Температура в печи поддерживается постоянной с помощью потенциометрического терморегулятора.

Оптическая схема интерференционного дилатометра, в котором образец, помимо собственного веса, несет дополнительную нагрузку,

представлена на рис. 1.7. Если расстояние между двумя оптическими плоскостями прозрачных пластинок 3 и 1 определяется высотою трех образцов 2 и высота образцов является одинаковой с точностью до нескольких длин волн падающего светового монохроматического луча, то при освещении пластинок этим монохроматическим лучом, падающим нормально к их поверхности, будет наблюдаться интерференционная картина.

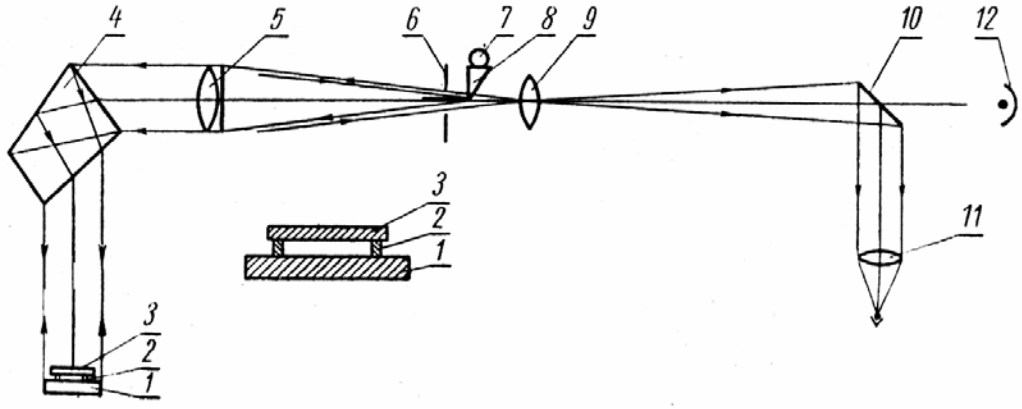


Рис. 1.7. Схема устройства интерференционного дилатометра, в котором образец, помимо собственного веса, несет дополнительную нагрузку: 1 – нижняя отражающая пластина; 2 – образцы; 3 – верхняя отражающая пластина; 4 – призма; 5 – коллиматорная линза; 6 – диафрагма; 7 – источник монохроматического света; 8 – отклоняющая призма; 9 – линза; 10 – зеркало; 11 – линза для визуального наблюдения интерференционной картины; 12 – фотоумножитель

При изменении размеров образцов пластины будут раздвигаться и интерференционные полосы начнут перемещаться. Удлинение образцов связано с движением интерференционных полос следующей зависимостью:

$$\Delta l = \frac{\Delta N \lambda}{2},$$

где Δl – изменение длины образцов;

ΔN – число интерференционных полос, прошедших данную точку при своем перемещении;

λ – длина волны применяемого монохроматического луча света.

Основным фактором, ограничивающим применение интерференционных дилатометров, является подготовка образцов для исследования. Образцы обрабатываются исключительно точно, а поэтому очень долго и стоят дорого.

Хотя интерференционный метод измерения удлинения с метрологической точки зрения безукоризнен и интерференционные дилатомет-

ры обладают весьма высокой чувствительностью, однако они не нашли широкого применения из-за сложности устройства и чрезвычайно большой трудоемкости подгонки исследуемого образца.

Интерференционные дилатометры могут применяться для точного измерения теплового расширения плотных строительных материалов типа стекол, но указанные выше особенности не позволяют использовать их при дилатометрических исследованиях бетонов и других пористых материалов конгломератного строения.

Дифференциальные линейные дилатометры. Дилатометры, в которых расширение исследуемого материала сравнивается с расширением уже изученного, называют дифференциальными дилатометрами. Наиболее широкое применение в линейной дилатометрии нашли кварцевые дифференциальные дилатометры.

Они чрезвычайно просты по конструкции и удобны в эксплуатации, но чувствительность их невысока. Принцип их работы таков: с помощью отсчетного устройства прибора, находящегося при комнатной температуре, измеряется смещение толкателя, опирающегося на образец, относительно держателя образца, неподвижно закрепленного в дилатометре. Смещение толкателя происходит в результате изменения длины исследуемого образца. Измерение ведется при помощи микроскопа, индикатора, при помощи отклонения зеркальца и другими способами.

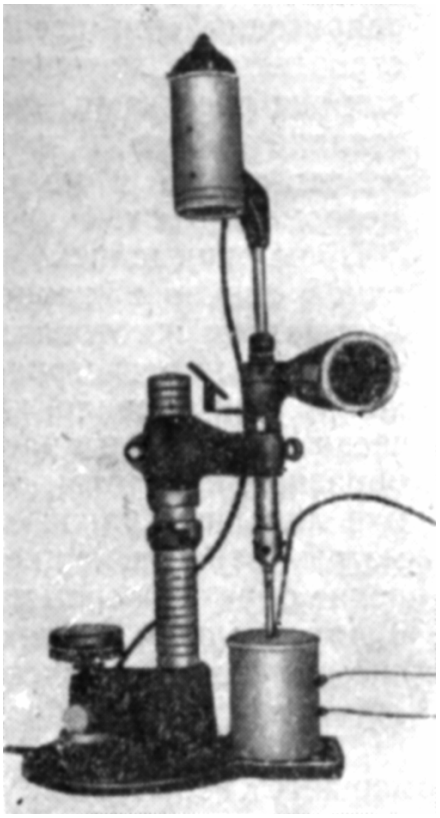
Общий вид прибора и его устройство показаны на рис. 1.8. На дне кварцевой пробирки 1 находится образец 7, расширение которого передается через кварцевый толкатель 6. Пробирка зажимается в корпусе 2 винтовой втулкой 5. На толкатель 6 ставится штифт подвижной системы оптиметра; перемещение последнего наблюдается через окно 3. Длина образцов 10–20 мм при диаметре их 5 мм; измерения проводятся до 400 °С.

Приспособление надевается на нижнюю часть тубуса вертикального оптиметра ИКВ и закрепляется зажимным винтом.

Нагрузка на образец в оптиметре достигает почти 200 г. Это не позволяет измерять расширения при сравнительно высоких температурах для большого класса пластических веществ.

Для исследования расширения стекла во всем интервале нагревания – от комнатной температуры до температуры размягчения, применяют кварцевые дилатометры. Кварцевая пробирка с образцом исследуемого стекла помещается в трубчатую печь. За изменением длины образца следит кварцевый толкатель. Зная температуру в печи и величину, на которую смещается свободный конец кварцевого толкателя, определяют коэффициент расширения стекла.

а



б

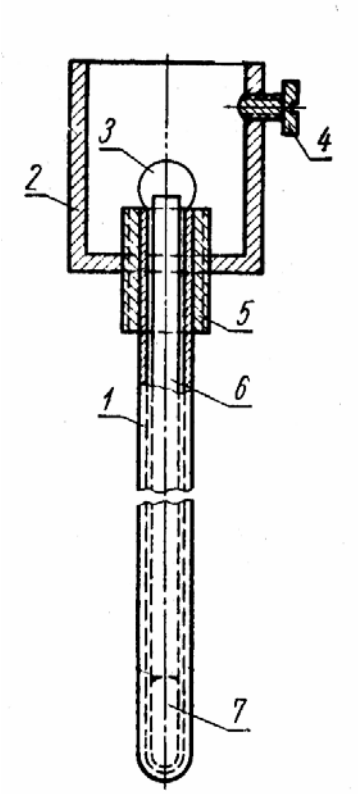
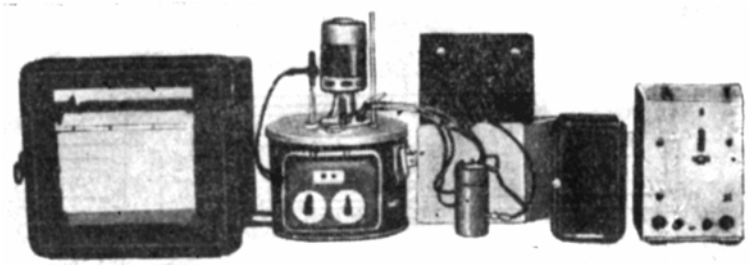


Рис. 1.8. Кварцевый дифференциальный дилатометр
на базе вертикального оптиметра ИКВ:
а – общий вид;
б – устройство прибора:
1 – кварцевая пробирка; 2 – корпус; 3 – окно для наблюдения;
4 – стопорный винт; 5 – винтовая втулка; 6 – толкатель;
7 – исследуемый образец

Кварцевые дилатометры, при построении которых применяли готовые отсчетные устройства, без соответствующих переделок непригодны для исследования строительных материалов, так как они рассчитаны на использование тонких и круглых образцов стекла и металла диаметром 3–5 мм.

Дифференциальные объемные дилатометры. Конструкции объемных дилатометров весьма разнообразны. На рис. 1.9 представлен один из них – объемный дифференциальный микродилатометр. По сравнению с обычными объемными дилатометрами для больших образцов объемный микродилатометр позволяет изучать различные явления дифференциальным способом на малых образцах в более широком диапазоне скоростей изменения температуры.

а



б

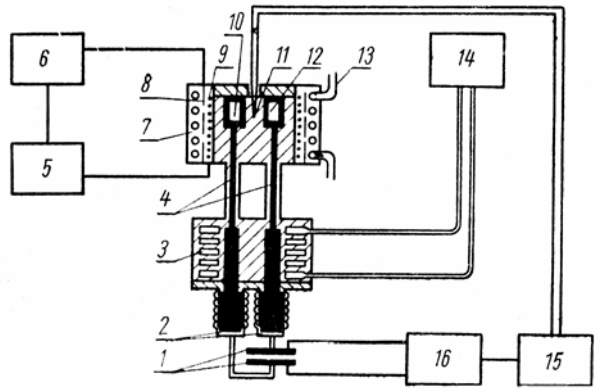


Рис. 1.9. Объемный дифференциальный микродилатометр:
а – общий вид; б — блок-схема

На рис. 1.9 введены следующие обозначения:

1 – плоскопараллельный конденсатор; 2 – система сильфонов; 3 – водяная рубашка; 4 – рабочая жидкость; 5 – электронный регулятор температуры ЭРС-59; 6 – программный задатчик температуры с исполнительным реле; 7 – термоблок; 8 – электронагреватель; 9 — датчик для регулирования температуры; 10 – испытуемый образец; 11 – термопара; 12 – модельное вещество; 13 –змеевик с хладагентом; 14 – ультратермостат; 15 – многоточечный самописец ЭПП-09; 16 – электронная усилительная схема.

Принцип работы прибора заключается в следующем (см. рис. 1.9). Изменение объема образца 10 под влиянием фазового превращения или теплового расширения передается через рабочую жидкость 4 и систему сильфонов 2 на плоскопараллельный конденсатор 1, емкость которого меняется в зависимости от взаимного перемещения его пластин. Электрический сигнал, вызванный изменением емкости конденсатора, преобразуется электронной усилительной схемой 16 и подается на вход многоточечного самописца 15 (ЭПП-09) и вместе с температурой образца, измеряемой термопарой 11, автоматически регистрируется в зависимости от времени.

Примененная в приборе двухкамерная дифференциальная система устраняет систематическую погрешность за счет теплового расширения рабочей жидкости, измерительных объемов и соединительных капилляров.

Измерения проводятся методом сравнения температурных изменений объемов исследуемого вещества с некоторым модельным веществом 12, для которого известна температурная зависимость изменения объема.

Размеры образца – от 5 до 100 мм^3. Чувствительность прибора – 0,0007 мм^3. Рабочая жидкость – либо вода, либо трансформаторное масло, либо *ртуть*. При этом рабочая жидкость не должна взаимодействовать с исследуемым веществом.

Термочасть прибора состоит из термоблока 7, программного датчика температуры с исполнительным реле 6 и электронного регулятора 5 типа ЭРС-59. Датчиком 9 для регулирования температуры служит платиновый термометр сопротивления. Нагрев блока осуществляется электронагревателем 8. Хладагент подается по змеевику 13. Система сильфонов термостатируется при помощи ультратермостата 14 и водяной рубашки 3.

Описанный дилатометр – наиболее совершенный из имеющихся объемных дилатометров. В объемных дилатометрах в качестве рабочей жидкости чаще всего применяют толуол, бензин или ртуть.

Компараторные дилатометры. Приборы, изготовленные из плавленого кварца, могут работать в интервале температур от –190 до +1000 °С.

Нижний предел ограничен тем, что в области температур от –60 до –80 °С плавленый кварц претерпевает аномалию в тепловом расширении и при дальнейшем понижении температуры начинает довольно заметно расширяться. При более низких температурах (ниже –190 °С) расширение кварца становится соизмеримым с температурными деформациями образца и поэтому кварц для изготовления дилатометров в области температур от –190 °С и ниже становится малопригодным.

Верхний температурный предел плавленого кварца ограничен тем, что при температуре выше 1100 °С кварц необратимо превращается в кристобалит. После этого он уже не пригоден для употребления, так как изменяет свой коэффициент расширения от нагревания с $0{,}5510^{-6}$ на $7\cdot10^{-3}$ град$^{-1}$.

Коэффициент линейного расширения плавленого кварца между 0 и 1000 °С изучен хорошо. Он считается постоянным, обратимым и равным приблизительно $0{,}55\cdot10^{-6}$ град$^{-1}$. Плавленый кварц обладает достаточной прочностью.

Чтобы избежать введения даже малой поправки на расширение кварца, пользуются абсолютным методом измерения при помощи компаратора.

1.3.1.3. Тензочувствительные преобразователи

Тензометры. Измерение линейных деформаций можно выполнять при помощи механических и зеркальных тензометров, а также проволочных электродатчиков омического сопротивления (рис. 1.10). В настоящее время в измерительной практике применяется значительное число различных конструкций зеркальных, рычажных, рычажно-винтовых, рычажно-зеркальных и других тензометров. Все они состоят из трех основных частей: устройств, воспринимающих деформации; устройств, передающих и увеличивающих эффект деформаций, и устройств для отсчета или регистрации показаний.

Все устройства для отсчета показаний тензометра имеют шкалу. При изменении длины l (базы прибора, т.е. расстояние между двумя точками, изменение которого измеряет тензометр) на величину Δl отсчеты по шкале меняются на величину ΔA. Отношение $K = \dfrac{\Delta A}{\Delta l}$ называется коэффициентом увеличения прибора и указывается в его паспорте.

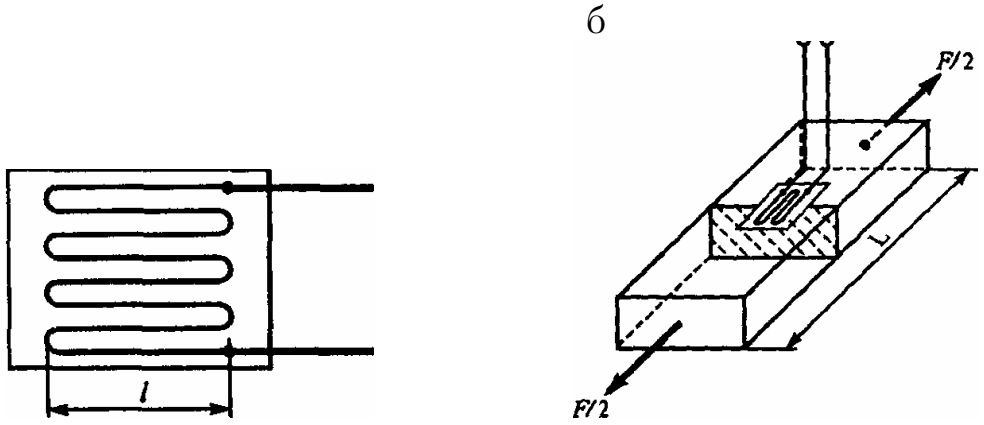


Рис. 1.10. Тензометры:
а – общий вид; б – тензометр на исследуемом образце

Для определения деформаций образцов в процессе испытания нужно взять два последовательных отсчета (в начале исследований и на определенной его стадии) по шкале тензометра, подсчитать разность отсчетов ΔA и, зная коэффициент увеличения K, рассчитать деформации:

$$\Delta l = \frac{\Delta A}{K}.$$

Наиболее удобны в работе тензометры рычажного типа. Как правило, база этих приборов равна 20 мм; присоединением специального удлинителя база может быть увеличена до любых размеров в пределах от 50 до 1000 мм.

Тензометр прижимается к образцу специальной струбциной. Расстояние между нижним ребром призмы и острием ножек определяет базу прибора. Жесткая рамка вместе с призмой составляет часть прибора, воспринимающую деформацию. Для увеличения деформации служит рычаг, жестко соединенный с призмой, и стрелка, шарнирно прикрепленная к рамке верхним концом. Отсчет производится по специальной шкале, снабженной зеркалом для повышения точности снятия отсчета. При производстве отсчета надо располагать глаз так, чтобы острие стрелки совпадало с его изображением в зеркале.

Особый интерес для лабораторной и промышленной практики представляют проволочные датчики, позволяющие из одного рабочего места вести наблюдения за линейными деформациями одновременно неограниченного числа точек. Такие датчики характеризуются незначительным весом и очень малыми габаритами. Проволочные датчики сопротивления состоят из решетки, представляющей собой несколько витков проволоки, наклеенной на полоску бумаги. Чем длиннее проволочка, тем больше изменение омического сопротивления и точнее замеры. С другой стороны, при неравномерной деформации исследуемой области желательно производить замеры на базе как можно меньшей, поэтому и изготавливают проволочные датчики в виде петель. Используют тонкую константановую, манганиновую или нихромовую проволоку диаметром 0,02–0,05 мм. Датчики специальными клеями прикрепляются к испытываемой конструкции, чтобы обеспечить их совместную работу с материалом. Работа датчиков основана на изменении омического сопротивления проволоки решетки в связи с ее деформациями под действием внешних сил

$$\frac{\Delta R}{R} = K\varepsilon,$$

где R – начальное электросопротивление датчика (обычно 50–400), Ом;

ΔR – изменение сопротивления датчика при его деформации, Ом;

ε – относительная деформация датчика, равная относительной деформации материала;

K – коэффициент пропорциональности, называемый чувствительностью датчика.

Изменение величины ΔR определяется тензостанцией, собранной по электрической схеме моста Уинстона, который обладает высокой чувствительностью к изменению сопротивления плеч. В схеме гальванометр может быть заменен осциллографом, что позволяет измерять или записывать на пленку быстроизменяющиеся динамические деформации.

Для автоматической записи измеряемых величин на ленточной диаграмме может быть использован автоматический регистратор деформации APD, собираемый на базе электронного потенциометра ЭПП-09.

Тензочувствительные преобразователи (тензорезисторы). В практике часто необходимы измерения механических напряжений и деформаций в элементах конструкций. Наиболее распространенными преобразователями этих величин в электрический сигнал являются тензорезисторы. В основе работы тензорезисторов лежит свойство металлов и полупроводников изменять свое электрическое сопротивление под действием приложенных к ним сил. Простейшим тензорезистором может быть отрезок проволоки, жестко сцепленный с поверхностью деформируемой детали. Растяжение или сжатие детали вызывает пропорциональное растяжение или сжатие проволоки, в результате чего изменяется ее электрическое сопротивление. В пределах упругих деформаций относительное изменение сопротивления проволоки связано с ее относительным удлинением соотношением

$$\Delta R / R = K_{\text{Т}} \Delta l / l,$$

где l, R – начальные длина и сопротивление проволоки;
Δl, ΔR – приращение длины и сопротивления;
$K_{\text{Т}}$ – коэффициент тензочувствительности.

Коэффициент тензочувствительности зависит от свойств материала, из которого изготовлен тензорезистор, а также от способа крепления тензорезистора к изделию. Для металлических проволок из различных металлов $K_{\text{Т}}$ составит 1–3,5.

Различают проволочные и полупроводниковые тензорезисторы. Для изготовления проволочных тензорезисторов применяются материалы, имеющие достаточно высокий коэффициент тензочувствительности и малый температурный коэффициент сопротивления. Наиболее употребительным материалом для изготовления проволочных тензорезисторов является константановая проволока диаметром 20–30 мкм.

Конструктивно проволочные тензорезисторы представляют собой решетку, состоящую из нескольких петель проволоки, наклеенных на тонкую бумажную (или иную) подложку (см. рис. 1.10). В зависимости

от материала подложки тензорезисторы могут работать при температурах от –40 до +400 °С. Существуют конструкции тензорезисторов, прикрепляемых к поверхности деталей с помощью цементов, способных работать при температурах до 800 °С.

Основными характеристиками тензорезисторов являются номинальное сопротивление R, база l и коэффициент тензочувствительности $K_{\text{Т}}$.

Промышленностью выпускается широкий ассортимент тензорезисторов с величиной базы от 5 до 30 мм, номинальными сопротивлениями от 50 до 2000 Ом, с коэффициентом тензочувствительности ±0,2.

Дальнейшим развитием проволочных тензорезисторов представлены фольговые и пленочные тензорезисторы, чувствительным элементом которых являются решетка из полосок фольги или тончайшая металлическая пленка, наносимые на подложки на лаковой основе.

Тензорезисторы выполняются на основе полупроводниковых материалов. Наиболее сильно тензоэффект выражен у германия, кремния и др. Основным отличием полупроводниковых тензорезисторов от проволочных является значительное (до 50 %) изменение сопротивления при деформации благодаря большому коэффициенту тензочувствительности.

Измерение сопротивления тензорезисторами производится теми же методами и средствами, что и термометрами сопротивления.

Для измерения механического напряжения в элементе конструкции тензорезистор наклеивают на исследуемый элемент в интересующем сечении таким образом, чтобы его продольная ось совпадала с направлением деформации. Если на элемент конструкции действует сила F, то значение возникающего в нем механического напряжения $\sigma = F / S$ связано с относительной деформацией соотношением

$$\sigma = \varepsilon E ,$$

где S – поперечное сечение элемента;

E – модуль упругости материала.

Измерив ΔR тензорезистора, можно по известным R, K_{τ} и E определить напряжение σ.

1.3.1.4. Оптико-механические средства измерения длины

Оптико-механическими называют средства измерения геометрических размеров, действие которых основано на использовании законов геометрической оптики (измерительные микроскопы, оптиметры) или явлений интерференции когерентных пучков света (интерференционные микроскопы, компараторы).

Распространенными приборами для линейных и угловых измерений в микроэлектронике и смежных отраслях являются измерительные проекторы и измерительные микроскопы.

Измерительные проекторы предназначены для проецирования теневого изображения (контура) изделий на экран и измерения их линейных и угловых размеров путем непосредственного сравнения теневого изображения с чертежом, исполненным в соответствующем масштабе, или вычерченным контуром изделия. Выпускаются проекторы с несколькими размерами экранов (от 250×250 мм, до 600×700 мм).

Стол проектора, на котором устанавливается изделие, имеет возможность перемещаться в продольном, поперечном направлениях и по вертикали. Перемещение стола отсчитывается по соответствующим шкалам с ценой деления 0,01–0,002 мм. Погрешность при измерении длин с помощью проектора не превышает ±(0,003–0,005) мм.

Некоторые типы современных проекторов снабжаются устройствами цифрового отсчета перемещения измерительного стола.

Измерительные микроскопы предназначены для измерений длин и углов различных деталей сложной формы в прямоугольной и полярной системах координат. Различают несколько типов микроскопов: малый микроскоп инструментальный, большой микроскоп инструментальный, а также универсальные микроскопы. Несмотря на конструктивные различия принципиальная схема измерения во всех микроскопах общая – визирование различных точек деталей, перемещаемых для этого по взаимно перпендикулярным направлениям, и измерение этих перемещений посредством микрометрических или иных отсчетных устройств. Для обеспечения лучшего визирования микроскопы снабжают сменными объективами различной степени увеличения.

Измерительный микроскоп состоит из основания, на котором укреплены две меры длины вдоль двух взаимно перпендикулярных осей координат, стола для закрепления измеряемого изделия и визирного микроскопа.

Измеряемое изделие устанавливается на столе микроскопа. Точки отсчета определяются по показаниям визирного микроскопа. При визировании ось микроскопа совмещается со штрихами на изделии или с его краями. Для этого перемещают стол с изделием или сам микроскоп относительно изделия. Перемещение соответствует измеряемой длине или расстоянию и определяется как разность между начальным и конечным положением стола. Для удобства работы выпускают измерительные микроскопы с цифровым отсчетом и внешней установкой показания на нуль. При отсчете начального показания от нуля результат измерения фиксируется на табло сразу, без пересчета.

1.3.2. Средства и методы измерения углов

Объекты угловых измерений весьма разнообразны по размерам, величинам измеряемых углов и требуемой точности измерения. Это обусловливает большое разнообразие методов и средств измерения углов, которые, однако, могут быть объединены в три группы.

Первая группа методов и средств объединяет приемы измерения углов с помощью так называемых «жестких мер» – угольников, угловых плиток, многогранных призм.

Вторую группу образуют гониометрические методы и средства измерений, у которых измеряемый угол сравнивают с соответствующим значением подразделения встроенной в прибор круговой или секторной шкалы. Третья группа – тригонометрические методы и средства – отличается тем, что мерой, с которой сравнивают измеряемый угол, является угол прямоугольного треугольника.

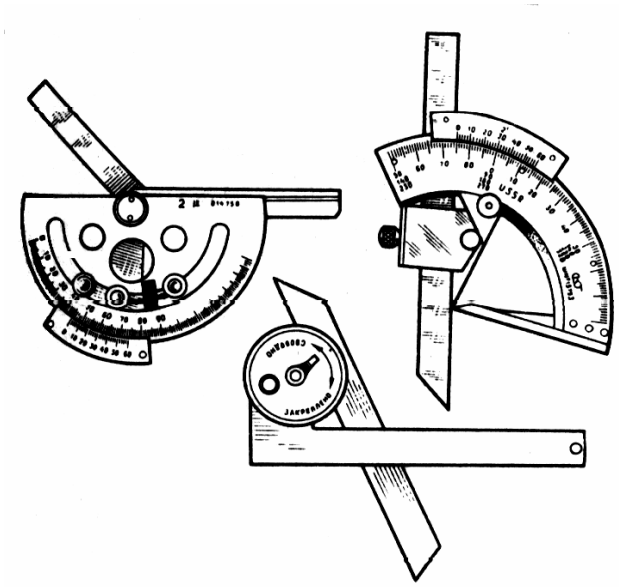


Рис. 1.11. Угломеры

Призматические угловые меры (рис. 1.12) изготавливают нескольких типов: плитки с одним рабочим углом, с четырьмя рабочими углами, шестигранные призмы с неравномерным угловым шагом. Угловые плитки выпускают в виде набора плиток, подобранных с таким расчетом, чтобы из них можно было составлять блоки с углами в пределах от 10 до 90°. По точности изготовления угловые меры относят к одному из трех классов точности (0; 1 и 2).

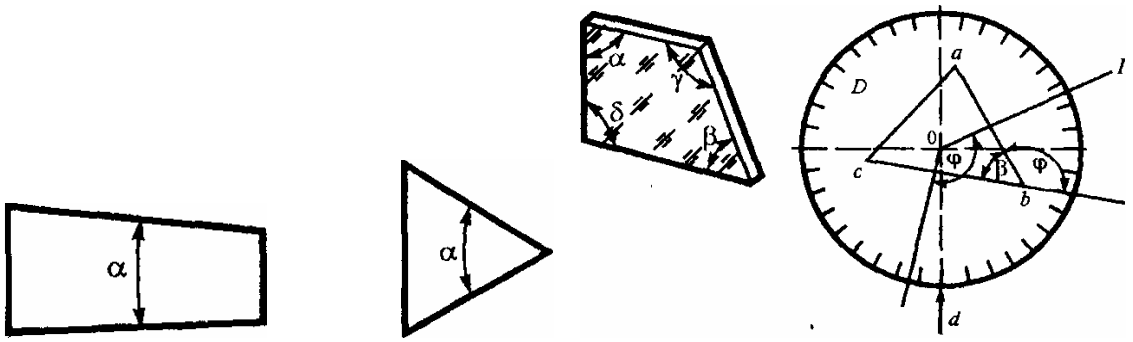


Рис. 1.12. Призматические угловые меры

Погрешность изготовления угловых мер первого класса ±10», второго класса ±30». Призматические угловые меры обладают свойством притираемости. Принцип гониометрического метода измерения легко представить, если предположить, что измеряемое изделие *abc* жестко связано с угловой мерой – круговой шкалой *D* (рис. 1.12). В некотором положении относительно какой-либо плоскости *l* берут отсчет по неподвижному указателю *d*. Затем шкалу поворачивают до такого положения, когда сторона *bc* угла совпадает с плоскостью, в которой до поворота находилась сторона *ab* или с другой плоскостью, ей параллельной. После этого снова производят отсчет по указателю.

При этом лимб повернется на угол φ между нормалями к сторонам угла, равный разности отсчетов до и после поворота лимба. Если измеряемый угол β, то $\beta = 180° - \varphi$.

Для повышения точности отсчета углов поворота в выпускаемых промышленностью угломерных приборах применяются угломерные нониусы и оптические устройства.

Угломеры с нониусом типа У (ГОСТ 5378-66; СТ СЭВ 850-78) – линейка, которая жестко связана с нониусом или указателем и может поворачиваться вокруг своей оси, являющейся одновременно осью угловой шкалы.

Угломеры с нониусом типа УМ. Угломеры предназначены для измерения наружных углов в пределах от 0 до 180°. Целое число градусов отсчитывается нулевым штрихом нониуса по шкале основания слева направо. Угол между крайними штрихами шкалы нониуса, равный 29°, разделен на 30 частей. Угол между соседними штрихами нониуса равен (60′·29):30=58′, что на 2′ меньше 1°.

При нулевом показании (когда совпадают нулевые штрихи основания и нониуса) штрих нониуса находится от ближайшего справа штриха основания на расстоянии, равном величине отсчета (2′), умноженной на порядковый номер штриха нониуса, не считая нулевого.

Дробная величина градуса (34′) получена в результате умножения величины отсчета (2′) на порядковый номер штриха нониуса (17), совпадающего со штрихом основания. Для ускорения чтения показаний используют цифры нониуса: 30′+(2′·2)=34′.

При чтении показаний на угломере с нониусом целое число градусов отсчитывают по шкале основания слева направо нулевым штрихом нониуса. Затем находят штрих нониуса, совпадающего со штрихом шкалы основания, и ближайшую к нему слева цифру нониуса. К этой цифре прибавляют результат умножения величины отсчета на порядковый номер совпадающего штриха нониуса, считая его от найденной цифры нониуса.

Измерение острых углов. Для установки и измерения углов от 0 до 90° угломер соединен с угольником.

Измерение тупых углов. Для установки и измерения углов от 90 до 180° угломер применяют без угольника и к его показаниям прибавляют 90°.

Чтобы установить угломер относительно незакрепленной измеряемой детали, прижимают слегка правой рукой деталь к измерительной поверхности линейки основания, перемещают ее, уменьшая просвет между деталью и второй измерительной поверхностью угломера до полного их соприкосновения.

После того как угломер установлен относительно детали, проверяют равномерность просвета между измерительными и проверяемыми поверхностями или его отсутствие (при малой шероховатости измерительных и проверяемых поверхностей), фиксируют положение стопором и читают показание. При чтении показаний угломер следует держать прямо перед глазами.

Угломер с нониусом типа УН. Угломер предназначен для измерения наружных углов от 0 до 180° и внутренних углов от 40 до 180°.

У угломера типа УН угол между крайними штрихами нониуса равен 29° и разделен на 30 частей, но он построен по дуге большего радиуса, чем у угломера типа УМ, следовательно, расстояние между штрихами больше, что облегчает чтение показаний. Правую и левую части шкалы основания рассматривают от его нулевого штриха. При измерении наружных углов от 0 до 50° показания читают по правой части шкалы. При измерении наружных углов от 50 до 90° показания читают по левой части шкалы. При измерении наружных углов от 90 до 140° к показаниям правой части шкалы прибавляют 90°. При измерении наружных углов от 140 до 180° к показаниям левой части шкалы прибавляют 90°.При измерении внутренних углов от 180 до 130° показания правой части шкалы вычитают из 180°. При измерении внутренних углов от 130 до 90° показания левой части шкалы вычитают из

180°. При измерении внутренних углов от 90 до 40° показания правой части шкалы вычитают из 90°.

Оптический угломер типа УО. Угломер предназначен для измерения наружных углов от 0 до 180°. Цена деления лимба 1°. Цена деления минутной шкалы 10 и 5′. Увеличение х16 и х40. Показания углов от 0 до 90° определяют отчетным индексом по шкале лимба. При изменении и установке углов от 90 до 180° показания угломера отнимают от 180°.

Стеклянный лимб разделен по окружности на 360 частей – градусов. Каждый градус разделен на 6 или 12 частей. Цена деления –10 или 5′.Перед применением угломер протирают и проверяют его нулевое положение

При отсутствии просвета между измерительными поверхностями угломера и угольника отчетный индекс должен совпадать со штрихом лимба 90°.

При измерении оптическим угломером используют нижнюю и верхнюю измерительные поверхности сдвоеннной и сменной линеек.

Во время установки угломера относительно образующих измеряемого угла незакрепленной детали, рекомендуется, чтобы правая рука придерживала и перемещала деталь, прижимая ее к сдвоенной линейке.

Синусная линейка. Синусная линейка служит для точных измерений углов косвенным методом: в начале определяют линейные отклонения, которые тригонометрическими вычислениями преобразуют в угловые величины. Установка синусной линейки осуществляется следующим образом.

На роликах одинакового диаметра с точно выдержанным расстоянием между осями (L=100 или 200 мм) установлен столик, плоскость которого параллельна линии, соединяющей оси роликов. При установке синусной линейки на плите плоскость столика будет параллельна плоскости плиты, а при измерении положения одного из роликов относительно плоскости плиты столик будет расположен к ней под углом, величина α которого зависит от размера блока концевых мер h, подкладываемого под ролик.

На плите устанавливают синусную линейку и стойку с измерительной головкой (индикатором, микрокатором и т.п.). Затем на столик устанавливают измеряемое изделие (конусные) с использованием упорных планок, которые предохраняют его от смещения. Расчет размера блока концевых мер, подкладываемого под один ролик, производится по формуле $h = L\sin 2\alpha$, где L – расстояние между осями ролика, α – номинальный угол уклона изделия. Проверка отклонения от параллельности производится перемещением стойки с измерительной головкой. Для определения действительного угла контролируе-

мого изделия линейные отклонения путем вычислений преобразуют угловые величины по формуле

$$\Delta\alpha = \frac{200\Delta h}{L},$$

где $\Delta\alpha$ – угловое отклонение;

Δh – линейные отклонения, мкм, на длине L, мм.

1.3.3. Измерение шероховатости поверхности

Шероховатостью поверхности называется совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами на базовой длине l (рис. 1.13). Шероховатость является одним из показателей качества поверхности и оценивается количественно стандартизованными параметрами. Базовая линия – линия заданной геометрической формы, проведенная определенным образом относительно профиля и служащая для оценки параметров шероховатости. Базовая линия, проведенная так, что в пределах ее длины среднее квадратическое отклонение профиля до этой линии минимально, называется средней линией m.

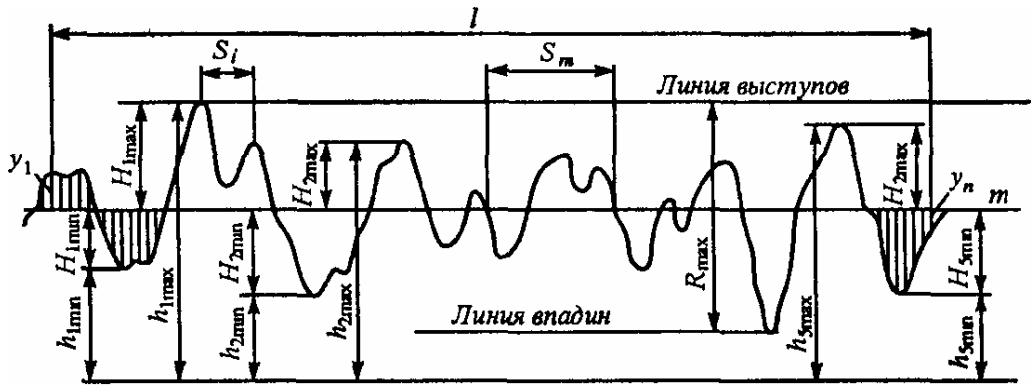


Рис. 1.13. Характеристики и параметры шероховатости

Стандартом установлены следующие параметры для количественного описания шероховатости.

Среднее арифметическое отклонение профиля Ra

$$Ra = \frac{1}{l}\int_{o}^{l} |y(x)|dx\,.$$

Высота неровностей профиля по десяти точкам *Rz* – сумма средних арифметических абсолютных отклонений точек пяти наибольших минимумов и пяти наибольших максимумов в пределах базовой длины

$$Rz = \frac{1}{5}\left(\sum_{i=1}^{5} \left| H_{i\max} \right| + \sum_{i=1}^{5} \left| H_{i\min} \right| \right),$$

где $H_{i\max}$, $H_{i\min}$ – отклонения максимумов и минимумов профиля.

Наибольшая высота неровностей профиля $R_{\max}$ – расстояние между линией выступов профиля и линией впадин в пределах базовой длины.

Средний шаг неровностей S_m – среднее арифметическое значение шага неровностей профиля в пределах базовой длины. Шагом неровностей профиля называется длина отрезка средней линии, пересекающего профиль в трех точках и ограниченного двумя крайними точками.

Средний шаг неровностей по вершинам *S* – среднее арифметическое значение шага неровностей профиля по вершинам в пределах базовой длины.

Относительная опорная длина профиля t_p – отношение опорной длины профиля к базовой длине. Опорной длиной называется сумма длин отрезков b_i, в пределах базовой длины, отсекаемая на заданном уровне *p* в материале выступов измеряемого профиля линией, эквидистантной средней линии.

Конкретные параметры шероховатости, указываемые в конструкторской и технологической документации, выбираются из числа стандартизованных и определяются экспериментально на основе измерений.

Наиболее распространено нормирование и оценивание шероховатости по величине *Ra*. В зависимости от способа механической обработки *Ra* составляет при точении 0,4–3,2 мкм, при шлифовании 0,025–0,4 мкм.

Шероховатость поверхности оценивается визуально сравнением с образцами шероховатости, либо измеряется контактными или бесконтактными (оптическими) методами и приборами.

Образцы шероховатости поверхности представляют собой бруски с плоской или цилиндрической поверхностью с известными значениями параметра шероховатости. Образцы шероховатости комплектуются в наборы, где на каждом образце указываются номинальное значение параметров шероховатости и способ механической обработки образца. Визуальное сравнение поверхностей изделия и образца дает удовлетворительные результаты только для относительно грубых поверхностей (0,6–0,8 мкм и более).

Контактные методы измерения шероховатости основываются на последовательном ощупывании исследуемого профиля на заданной

длине с помощью алмазной иглы (щупа). Перемещение иглы в вертикальном направлении повторяет профиль шероховатости и преобразуется в электрический сигнал, который усиливается и измеряется аналоговым или цифровым прибором. В качестве преобразователя перемещения в электрический сигнал обычно используются индуктивные преобразователи.

Приборы, реализующие контактные методы измерения, называются профилометрами или профилографами (с записью профилограммы на носитель – ленту). Современные профилометры позволяют измерять параметр *Ra* в пределах 0,02...10 мкм с погрешностью не более 10...15 %.

Оптические методы измерения для получения информации о количественных характеристиках шероховатости используют известные оптические явления, на основе которых создаются соответствующие средства измерений. К оптическим средствам измерения относят приборы светового и теневого сечения, интерферометры, муаровые микроскопы.

Все эти приборы позволяют наблюдать преобразованную и увеличенную картину сечения исследуемой поверхности и производить отсчеты величин для определения параметров *Ra*, R_{max}, *S* и S_m. Рассмотрим принцип действия некоторых из оптических приборов.

В интерферометрах для получения информации о шероховатости используется явление интерференции света. Упрощенная оптическая схема интерферометра приведена на рис. 1.14.

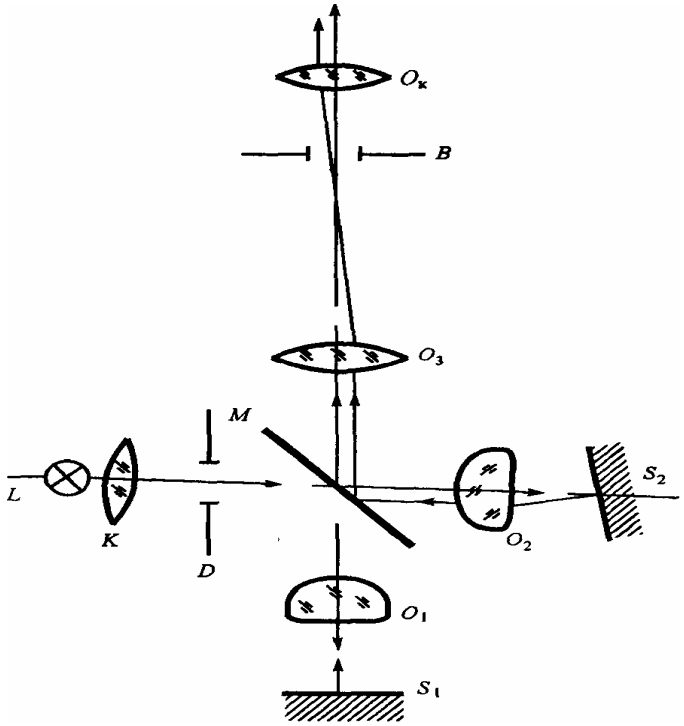


Рис. 1.14. Оптическая схема интерферометра

Свет от источника *L* проходит через конденсор *K* и диафрагму *D* и разделяется полупрозрачной пластиной *M* на два когерентных пучка. Один из пучков падает через микрообъектив O_1 на исследуемую поверхность S_1, отразившись от которой снова попадает в объектив O_1 и фокусируется в плоскости *B,* являющейся фокальной плоскостью окуляра Ок.

Второй пучок проходит разделительную пластину *M* и микрообъектив O_2, падает на зеркало сравнения S_2, наклоненное относительно оптической оси на небольшой угол. Объектив O_2 проецирует изображение зеркала сравнения S_2 также в плоскости изображения *B*. В результате сложения этих двух когерентных пучков света в плоскости *B* возникают интерференционные полосы, искривленные соответственно профилю исследуемой поверхности рис. 1.15).

Изгибы интерференционных полос можно измерять на глаз или с помощью окулярного микрометра. Интерференционная картина может быть также сфотографирована.

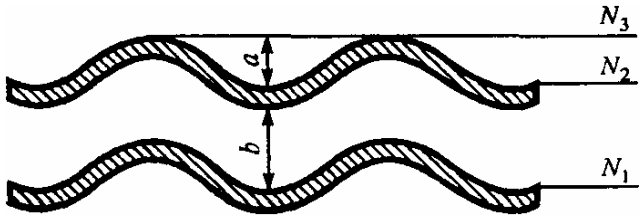


Рис. 1.15. Интерференционные полосы

При измерении на глаз величину искривления *a* сравнивают с расстоянием между полосами *b*. На рис. 1.15 $a = (2/3)b$. Расстояние между полосами составляет половину длины волны. Если интерференционная картина рассматривается в белом свете (длина волны $\lambda = 0{,}6$ мкм), то $a = (2/3)\cdot 0{,}3 = 0{,}2$ мкм.

Среднее арифметическое из пяти значений величины искривления *a* определяет параметр *Rz*.

Измерение характерных размеров интерференционной картины производится с помощью окулярных микрометров при большом увеличении (х500 и х700). Принцип действия приборов светового сечения основан на получении профиля изображения поверхности с помощью наклонно направленных к поверхности лучей. Приборы позволяют измерять средние высоты неровностей (от 80 до 0,8 мкм). В конструкции приборов светового сечения предусмотрены два микроскопа, поэтому их часто называют двойными микроскопами. Метод светового сечения иллюстрирует рис. 1.16. Освещенная узкая щель проецируется микроскопом на ступенчатую поверхность $P_1 - P_2$. Направление паде-

ния света показано стрелками. Изображение светящейся щели на ступенчатой поверхности займет положение S_1 на верхней части ступеньки P_1 и положение S_2 на нижней части P_2. Отразившись от поверхности, лучи попадают в микроскоп наблюдения, который расположен под углом 90° к оси проецирующего микроскопа. В поле зрения микроскопа наблюдения изображение щели будет иметь вид, показанный на рис. 1.17. Смещение b изображения S_2'' относительно S_1'' определяется высотой ступеньки h. Смещение b отсчитывается оптическими окулярными микрометрами. Из рис. 3.16 следует, что

$$h = \frac{b}{2\Gamma_m \sin 45°},$$

где Γ_m – общее увеличение прибора.

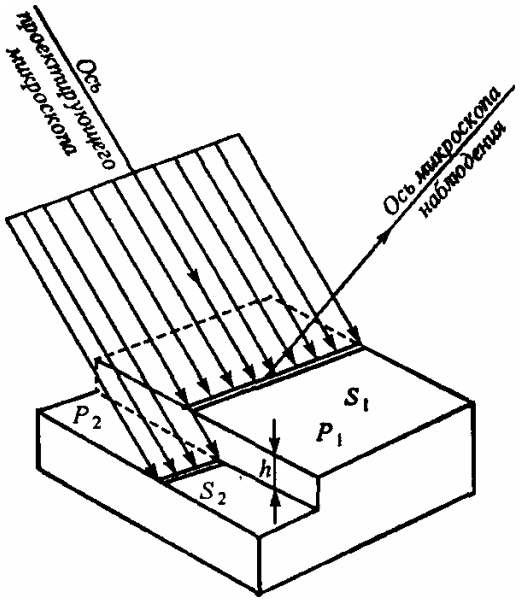


Рис. 1.16. Метод светового сечения

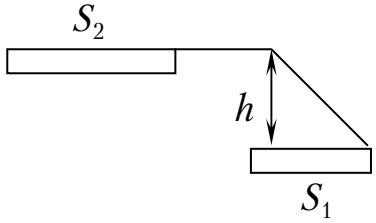


Рис. 1.17. К расчету смещения

Растровый метод измерения применяется в муаровых микроскопах. Растрами называют совокупность расположенных на одинаковом расстоянии прямолинейных непрозрачных штрихов, разделенных прозрачными промежутками. Шагом растра l называется расстояние,

равное ширине a непрозрачного штриха плюс прозрачный промежуток b, т.е. $l=a+b$. Если взять два растра A и B, имеющие одинаковые шаги l_1 и l_2 и наложить их друг на друга так, чтобы плоскости штрихов обоих растров были разделены малым воздушным промежутком (порядка 0,1 мм), а направления штрихов составляли небольшой угол θ (порядка 2–3°), то будут видны муаровые полосы K. Эти полосы представляют собой пилообразные линии, образующиеся при смещении штрихов двух растров, которые воспринимаются глазом в виде сплошных линий. Расстояние T между полосами зависит от величины шага растров и угла θ

$$T = \frac{l}{2}\sin(\theta/2),$$

или, при малости угла θ, $T = l/\theta$.

Смещение одного из растров в направлении, перпендикулярном к его штрихам, вызывает смещение всех муаровых полос. Если у одного из растров шаг неравномерен, то смещение (искривление) муаровых полос будет наблюдаться только в той зоне, где нарушена равномерность шагов, т.е. где шаги растров больше или меньше нормального.

Муаровые полосы и их искривления возникают не только при наложении двух растров друг на друга, но и в случае проекции одного из растров (исходного) в плоскость штрихов другого растра (сравнения). Это явление и используют для измерения шероховатости. Для этого штрихи исходного растра 7 (рис. 1.18) с помощью осветителя 6 и оптической системы 2 проецируют на исследуемую поверхность 3 под углом α, а оптическая система 4 создает изображение исследуемой поверхности вместе со спроецированными на нее штрихами исходного растра в плоскости растра сравнения 5.

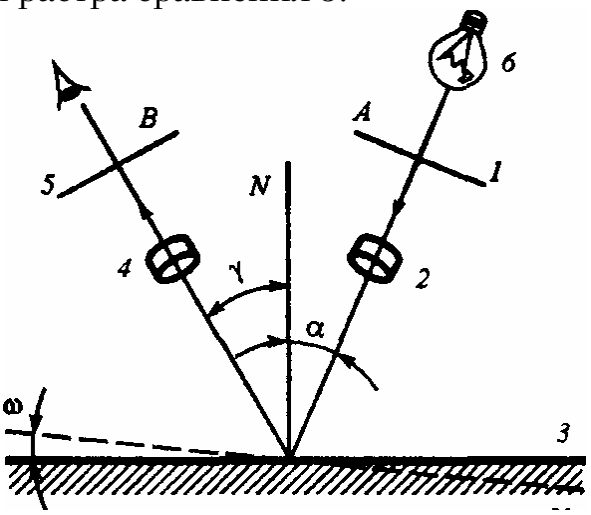


Рис. 1.18. Схема, положенная в основу растровых приборов для измерения неровностей

В местах, где штрихи растра проецируются на склоны неровностей исследуемой поверхности, обращенные к проецируемому пучку, расстояния между соседними штрихами l_1' будут меньше, чем нормальный шаг l_0', а на противоположных склонах эти расстояния l_2' будут больше l_0' (рис. 1.19, а, б). Изменения расстояний пропорциональны высотам неровностей. Измеряя смещение муаровых полос, можно рассчитать высоту неровности. Промышленностью выпускаются муаровые микроскопы, обеспечивающие измерения параметров *Rz*, R_{max} в пределах 08...40 мкм с погрешностью не более 10...30 %.

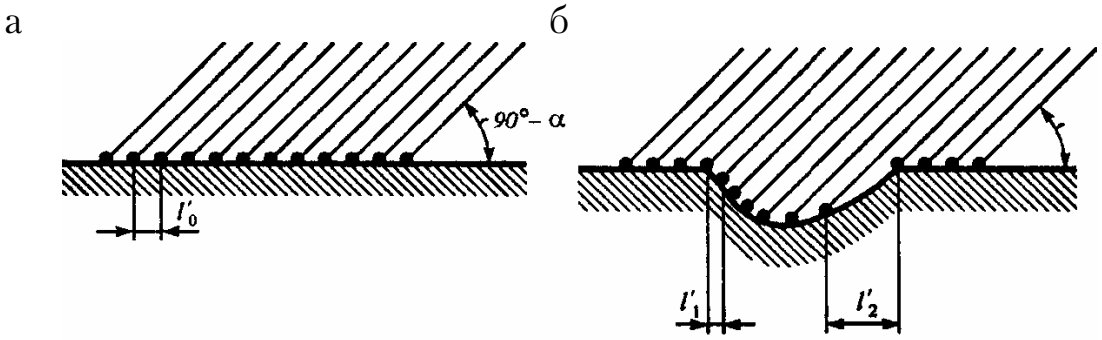


Рис. 1.19. Проецирование растров:
а – на гладкую поверхность;
б – на поверхность, имеющую неровности

1.3.4. Средства контроля горизонтального и вертикального положения поверхности

Технические уровни. Уровни предназначены для контроля горизонтального и вертикального положения поверхности и определения отклонений от этих положений.

К основным типам уровней относятся брусковые, рамные, установочные и микрометрические. Принцип действия уровней заключается в том, что пузырек воздуха в ампуле (запаянная стеклянная трубка, не полностью заполненная жидкостью) располагается в ее верхней части и при угловых отклонениях уровня остается на месте, а ампула с нанесенными на ней делениями перемещается относительно пузырька. Ценой деления ампулы называется наклон уровня, соответствующий перемещению пузырька основной ампулы на одно деление шкалы, выраженной в миллиметрах на 1 м. Угол наклона в 0,01 мм/м соответствует в градусной мере 2″. Цена деления основной ампулы технических уровней: 0.02; 0.05; 0.10; 0.15 мм/м.

Брусковый уровень служит только для контроля горизонтального положения.

Рамный уровень. Рамный уровень предназначен для контроля горизонтального и вертикального положения. Корпус рамного уровня имеет форму квадрата, все стороны которого являются рабочими. Для установки на цилиндрических поверхностях горизонтального и вертикального положения на рабочих сторонах имеются призматические выемки. На маркированной пластине числовые значения соответствуют одному делению ампулы линейного перемещения на длину 1 м. Например, 1 дел.=0,1 мм на 1 м.

Установочные уровни. Установочные уровни монтируют в оборудование; они служат для контроля его установки в горизонтальном положении.

Уровни с микрометрической подачей ампулы. Микрометрическим уровнем измеряют уклоны плоских и цилиндрических поверхностей, определяя величину подъема в миллиметрах на 1 м длины. Цена деления ампулы и микрометрического узла равна 0,1 мм на 1 м. Пределы измерения уклонов в обе стороны от горизонтали до 30 мм на 1 м длины. Трубка микрометрического уровня шарнирно связана с корпусом, что позволяет устанавливать помещенную в ней основную ампулу под различным углом к рабочим поверхностям корпуса. Трубка с ампулой перемещается с помощью микрометрической головки. Небольшие уклоны определяют по шкале основной ампулы, а большие уклоны – по показаниям микрометрической части. Перед измерением устанавливают ось ампулы параллельно рабочим поверхностям уровня. Затем уровни ставят на проверяемую поверхность, определяют направление уклона (по положению пузырька) и его величину.

Малые величины уклона определяют по шкале основной ампулы. При определении больших величин уклона вращением барабана устанавливают ампулу в нулевом положении (до совпадения осей пузырька и ампулы). Величину уклона определяют по шкалам микрометрической головки. Каждое деление шкалы стебля, определяемое скосом барабана, соответствует уклону 5 мм на 1 м и каждое деление шкалы барабана (определяемое порядковым номером штриха барабана, совпадающего с продольным штрихом стебля) соответствует уклону 0,1 мм на 1 м.

Оптический квадрант. Оптический квадрант КО предназначен для измерения и установки углов наклона плоских и цилиндрических поверхностей.

Конструктивно оптический квадрант представляет соединение угломера с уровнем.

Пределы измерения по шкале лимба не менее ±120°. Цена деления шкалы отсчетного устройства 2–60». При измерении угла наклона

устанавливают квадрант на проверяемую поверхность, освобождают стопорный винт и проворачивают наружный диск до тех пор, пока пузырек продольного уровня не отойдет от края ампулы. После этого надо закрепить стопорный винт, микрометрической подачей установить пузырек продольного уровня в среднее положение (на нуль – пункт) и прочесть показания в отсчетном микроскопе.

Поверхности под заданным углом устанавливают в обратном порядке: сначала поворачивают наружный диск, устанавливая его ориентировочно на требуемый угол, а затем с помощью микроподачи отсчетного микроскопа осуществляют точную установку угла. После этого квадрант устанавливают своим основанием на поверхность монтируемого изделия, располагая его таким образом, чтобы пузырек поперечного уровня занял среднее положение, и перемещая это изделие до тех пор, пока пузырек продольного уровня не займет среднее положение.

1.3.5. Цифровые отсчетные устройства

В настоящее время расширяется разработка и применение в промышленности электронных цифровых вычислительных машин, в которых требуемые действия выполняются счетчиками и управляющими схемами.

По своим эксплуатационным свойствам цифровые и электроизмерительные приборы характеризуются высокой точностью измерений, быстродействием, автоматизацией измерения и удобством регистрации результатов измерения.

Цифровое отсчетное устройство (ЦОУ) может быть придано к средству измерения, содержащему электронную часть прибора, или как комплекс измерительных средств может быть непосредственно придано (встроено) в металлообрабатывающее оборудование.

Например, к микроскопу инструментальному БМИ-1Ц придано устройство цифровое пересчетное УЦП-1м (рис. 1.20). Электронная часть прибора будет содержать преобразователь электронно-оптический в координатах X и Y и устройство цифровое пересчетное. Преобразователь электронно-оптический предназначен для преобразования реверсивных линейных перемещений в пропорциональное им число электрических импульсов. Преобразователь включает в себя механическую и элекронно-оптическую системы. Основным механизмом системы является узел микровинта с приводом для вращения. Микровинт преобразует круговые вращения в продольное перемещение.

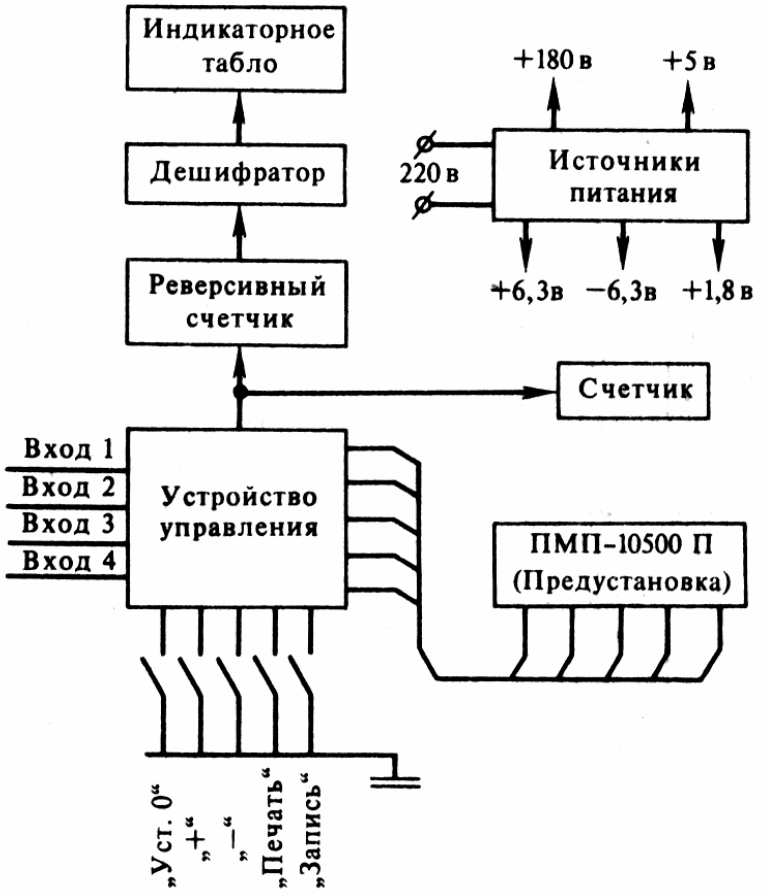


Рис. 1.20. Схема цифрового отсчетного устройства

Устройство цифровое пересчетное включает в себя устройство управления, реверсивный счетчик, счетчик, переключатель и источники питания. Предустановка любого пятиразрядного десятичного числа со знаками “ + ” или “ – “ осуществляется с помощью “Переключателя”. При нажатии кнопки “Запись” импульсы с устройства управления поступают одновременно на входы счетчика и реверсивного счетчика и через дешифратор на табло индицируются числа. Вращением привода механической системы передаются числа с оптическо-механического преобразователя.

Цифровое отсчетное устройство (ЦОУ) для оснащения универсальных металлорежущих станков контролирует перемещение рабочих органов станка (суппорта, каретки, стола и т.п.) и в наглядной форме на цифровом табло показывает их положение относительно выбранного начала координат. В соответствии с показаниями на цифровом табло станочник обрабатывает деталь до получения нужных размеров, управляя станком, как и обычно, вручную.

ЦОУ состоит из следующих основных частей: датчика перемещений непосредственно механически связанного с рабочим органом

станка и контролирующего его перемещения, электронного блока с цифровым табло, отсчитывающего и показывающего величину перемещений в соответствии с сигналами преобразователя. Электронный блок имеет дополнительные устройства управления, обеспечивающие введение в блок любого числа с помощью декадных переключателей и кнопки записи числа, выбор начала отсчета и сброс показаний на ноль в любой точке с помощью кнопки сброса.

Цифровое отсчетное устройство на базе выпускаемых датчиков и электронных блоков имеет основные характеристики: цена отсчета от 0,001 до 0,02 мм; наибольшая скорость контролируемого перемещения при цене отсчета 0,01 мм – 15 м/мин, при цене отсчета 0,001 мм – 1,5 м/мин; наибольшая величина контролируемого перемещения не больше 1 м при цене отсчета 0,001 мм и не более 10 м при цене отсчета 0,01 мм.

При оснащении станка цифровым устройством надо сначала произвести проверку соответствия станка его паспортным данным и при необходимости отрегулировать его узлы. Затем надо произвести монтаж цифрового отсчетного устройства на станке и, поскольку контролируются не размеры обрабатываемой детали непосредственно, а перемещение той части станка, с которой связан датчик, надо проверить станок на геометрическую точность совместно с цифровым отсчетным устройством.

Приступая к работе с использованием ЦОУ, надо подготовить базу для отсчета в координатах *X* и *Y*. Для этого подрезают торец заготовки и в данном положении каретки, не отводя резец в продольном направлении, показания на цифровом табло блока координаты *X* устанавливают на ноль. В дальнейшем отсчет всех продольных размеров выполняют от этого торца.

Для получения базы в координате *Y* на заготовке выполняется пробная проточка произвольного диаметра и в данном положении суппорта, не отводя резец в поперечном направлении, с помощью универсальных средств измерения производится замер диаметра проточки, величина которого набирается с помощью декадных переключателей и вводится в блок поперечной координаты.

По показаниям цифровых табло поперечной и продольной координат без дополнительных замеров универсальными средствами измерений выполняются предварительная и окончательная обработка детали в соответствии с размерами, заданными чертежом.

1.4. Методы и средства измерения температуры

Для измерения температуры в лабораториях строительных материалов применяют главным образом жидкостные термометры, реже – манометрические, термоэлектрические и термометры сопротивления.

В системе СИ принята температурная шкала Кельвина, в которой температура отсчитывается от абсолютного нуля температур. Точка плавления льда по шкале Кельвина равна 273,15 К, точка кипения воды – 373,15 К. Пересчитывают температуры из одной шкалы в другую по формуле t °С = ТК – 273,15 °С. При испытании строительных материалов применяют обычно шкалу Цельсия.

Жидкостные термометры. Термометры, действие которых основано на тепловом расширении жидкости (ртути, спирта, пентана и др.), служат для измерения температур в интервале от –200 до +750 °С.

Жидкостные термометры представляют собой стеклянный резервуар с припаянным к нему капилляром. Жидкость полностью заполняет резервуар и часть капилляра. При изменении температуры объем жидкости изменяется, вследствие чего ее уровень в капилляре поднимается или опускается на величину, пропорциональную изменению температуры. Благодаря малому диаметру капилляра даже небольшое изменение объема жидкости заметно меняет ее уровень в капилляре.

В качестве термометрического вещества, заполняющего термометр, для измерения температур выше 30 °С чаще всего применяют ртуть, которая находится в жидком состоянии в большом интервале температур (от –39 до +357 °С). Для измерения температур ниже 30 °С обычно используют подкрашенный спирт.

По конструкции жидкостные термометры бывают трех типов: палочные, с вложенной шкалой и с прикладной наружной шкалой.

Палочные термометры. Это массивные капиллярные трубки, на внешней поверхности которых нанесена шкала.

У термометров с вложенной шкалой внутри стеклянной оболочки заключена капиллярная трубка, а позади нее – шкальная пластина из непрозрачного стекла белого цвета. Шкальная пластина в нижней части опирается на сужение оболочки, а в верхней – припаяна к внутренней стороне оболочки. Пластина может быть закреплена и другим способом. Капиллярная трубка крепится к шкальной пластине тонкой проволокой из нержавеющего металла.

Термометры с прикладной наружной шкалой представляют собой массивную пластину из пластмассы, дерева или металла, с нанесенной на нее шкалой, к которой прикреплен капилляр с резервуаром. Чтобы

предохранить жидкостные термометры от разрушения при случайном перегреве, в верхнем конце капилляра предусмотрено расширение (запасной резервуар) или выступающая за пределы градуированной шкалы часть капилляра, допускающая перегрев не менее чем на 20 °С.

Отметки шкалы нанесены в виде штрихов, перпендикулярных оси капилляра. Цена деления шкалы термометра от 10 до 0,01 °С. Для удобства пользования и обеспечения высокой точности измерения термометры изготовляют с укороченной шкалой (например, медицинский термометр – на интервал температур от 35 до 42 °С). Наиболее точные термометры имеют на шкале точку 0 °С независимо от нанесенного на ней температурного интервала.

Общий недостаток жидкостных термометров – значительная тепловая инерция и не всегда удобные для работы габариты.

По назначению жидкостные термометры бывают различных видов. В строительных лабораториях чаще всего применяют стеклянные лабораторные, технические ртутные термометры и жидкостные (нертутные) термометры.

Стеклянные ртутные лабораторные термометры. Применяемые для измерения температур в интервале от –30 до +500 °С, бывают палочные и с вложенной шкалой. Промышленность выпускает 30 видов лабораторных термометров для измерения температур в интервале 100 и 50 °С и ценой деления шкалы от 2 до 0,1 °С.

Стеклянные технические термометры. Предназначены для измерения температур в интервале от –90 до 600 °С. По форме эти термометры могут быть прямые (П) и угловые (У). В термометры вложена шкальная пластина, закрепляемая сверху пробкой. Промышленность выпускает 12 видов технических термометров, отличающихся пределами измерения. Термометры используют для измерения температуры в сушильных шкафах, термостатах, холодильных камерах и других установках. Для этого термометр погружают узкой нижней частью на требуемую глубину, в верхняя часть находится снаружи.

Стеклянные жидкостные (нертутные) термометры. Служат для измерения температур в интервале от –200 до +200 °С. В качестве термометрической жидкости в них используют органические вещества: этиловый спирт, пропан, керосин и т.п. Жидкостные термометры – палочные, с вложенной и прикладной шкалой.

Термометры сопротивления. Действия этих приборов основаны на изменении электрического сопротивления металлов, сплавов и полупроводников при изменении температуры. Чаще всего применяют платиновые термометры, позволяющие измерять температуру в пределах

от –260 до +1060 °С; для более узкого диапазона температур (от –50 до +180 °С) используют медные термометры сопротивления.

Термометры сопротивления выполнены в виде каркаса из фарфора, кварца или слюды с обмоткой из платиновой, медной или какой-либо другой проволоки диаметром 0,05–0,2 мм, закрытой фарфоровой, стеклянной или металлической оболочкой. Термометры сопротивления так же, как и термоэлектрические, самостоятельно не применяют – их используют в комплекте со вторичными измерительными устройствами, для подключения к которым термометр снабжен выводными концами.

Манометрические термометры. Действие этих термометров основано на изменении давления газа в замкнутом объеме при изменении температуры (законы Бойля–Мариотта и Гей-Люссака). При помещении термометрического баллона манометрического термометра в измеряемую среду давление газа в баллоне меняется. Соответственно оно меняется и в полой манометрической пружине, сообщающейся с баллоном капилляром. При этом пружина закручивается, двигая стрелку вдоль температурной шкалы.

Термоэлектрические термометры. Такие термометры включают в себя термоэлектрический преобразователь (термопару), преобразующий тепловую энергию в электрическую, и электроизмерительный прибор (милливольтметр, потенциометр).

Термоэлектрический преобразователь состоит из двух последовательно соединенных (спаянных) между собой разнородных электропроводящих элементов (металлов или полупроводников). Если спаи термоэлектрического преобразователя имеют разные температуры ($T_1 \neq T_2$), то в цепи термоэлемента возникает термоэлектродвижущая сила (ЭДС), значение которой зависит от разности температур горячего и холодного спаев. Поэтому при постоянной температуре одного спая ЭДС может служить показателем температуры другого спая. ЭДС термоэлектрических преобразователей невелика и составляет несколько милливольт. Линейная (или близкая к ней) зависимость ЭДС от разности температур спаев позволяет выполнять шкалу электроизмерительного прибора, применяемого в комплекте с ним, не в милливольтах, а непосредственно в градусах. Холодный спай помещают в тающий лед, имеющий стабильную температуру 0 °С.

Для термоэлектрических термометров применяют термоэлектрические преобразователи (термопары) из различных металлов с определенными градуировочными характеристиками.

Термоэлектрические преобразователи (термопары). Эти преобразователи применяются для измерения температуры. Принцип действия термопары заключается в следующем. Электрическая цепь, составлена

из двух разнородных проводников *A* и *B*. Точки соединения проводников называются спаями термопары. Если температуры спаев одинаковы, то ток в термоэлектрической цепи отсутствует. Если же температура одного из спаев выше (горячий спай), чем температура другого (холодный спай), то в цепи возникает термоэлектродвижущая сила СГЭДО *E,* зависящая от разности температур спаев:

$$E = f(t_1 - t_2).$$

Если поддерживать температуру холодного спая постоянной, то

$$E = f(t_1).$$

Эту зависимость используют для измерения температуры с помощью термопар. Для измерения ТЭДС электроизмерительный прибор включают в разрыв холодного спая.

Чтобы ТЭДС термопары однозначно определялась температурой горячего спая, необходимо температуру холодного спая поддерживать всегда одинаковой.

Для изготовления электродов термопар используют как чистые металлы, так и специальные сплавы стандартизованного состава. Градуировочные таблицы для стандартных термопар составлены при условии равенства температуры свободных концов 0 °С. На практике не всегда удается поддерживать эту температуру. В таких случаях в показания термопары вводят поправку на температуру свободных концов. Существуют схемы для автоматического введения поправок.

Конструктивно термопары выполняются в виде двух изолированных термоэлектродов с рабочим спаем, получаемым способом сварки, помещенных в защитную арматуру, предохраняющую термопару от внешних воздействий и повреждений. Рабочие концы термопары выведены в головку термопары, снабженную зажимами для включения термопары в электрическую цепь.

В табл. 1.6 приведены характеристики термопар, выпускаемых промышленностью. Для измерения высоких температур применяют термопары ПП, ПР и ВР. Термопары из благородных металлов используют для измерений с повышенной точностью.

В зависимости от конструкции термопары могут иметь тепловую инерцию, характеризуемую постоянной времени от единиц секунд до нескольких минут, что ограничивает возможность их применения для измерения быстроменяющихся температур.

Таблица 1.6

Характеристики термопар

Тип	Материал термопар	Пределы измерений при длительном режиме, °С
ТПП	Платинородий (10 % родия) – платина	–20...+1300
ТПР	Платинородий (30 % родия) – платинородий (6 % родия)	300...1600
ТХА	Хромель – алюмель	–50...+1000
ТХК	Хромель – копель	–50...+600
НС	Сплавы НК-СА	300...1600

Кроме включения измерительного прибора в спай термопары, возможно включение прибора “в электрод”, т.е. в разрыв одного из термоэлектродов. Такое включение позволяет измерять разность температур t_1–t_2. Например, может быть измерен перегрев обмоток трансформатора над температурой окружающей среды при его испытаниях. Для этого рабочий спай термопары заделывают в обмотку, а свободный спай оставляют при температуре окружающей среды.

Требование постоянства температуры свободных концов термопары вынуждает по возможности удалять их от места измерения. Для этой цели применяют так называемые удлиняющие или компенсационные провода КП, подключаемые к свободным концам термопары с соблюдением полярности. Компенсационные провода составляются из разнородных проводников, которые в интервале возможных колебаний температуры свободных концов развивают в паре между собой такую же ТЭДС, как и термопара. Поэтому, если места подключения компенсационных проводов находятся при температуре t_2, а температура в месте подключения термопары к прибору t_0, то ТЭДС термопары будет соответствовать ее градуировке при температуре свободных концов t_0.

Максимальная развиваемая стандартными термопарами ТЭДС составляет от единиц до десятков милливольт.

Для измерения ТЭДС могут применяться магнитоэлектрические, электронные (аналоговые и цифровые) милливольтметры и потенциометры постоянного тока. При использовании милливольтметров магнитоэлектрической системы следует иметь в виду, что измеряемое милливольтметром напряжение на его зажимах

$$U = IR_{\text{В}},$$

где I – ток в цепи термопары;

$R_{\text{В}}$ – сопротивление милливольтметра.

Так как источником тока в цепи является термопара, то

$$I = \frac{E}{R_{\text{В}} + R_{\text{ВН}}},$$

где $R_{\text{ВН}}$ – сопротивление участка цепи внешнего по отношению к милливольтметру (т.е. электродов термопары и компенсационных проводов).

Поэтому измеряемое милливольтметром напряжение будет равно

$$U = \frac{E}{1 + R_{\text{ВН}} / R_{\text{В}}}.$$

Таким образом, показания милливольтметра тем больше отличаются от ТЭДС термопары, чем больше отношение $R_{\text{ВН}}/R_{\text{В}}$. Для уменьшения погрешности от влияния внешнего сопротивления милливольтметры, предназначенные для работы с термопарами (так называемые пирометрические милливольтметры), градуируются для конкретного типа термопар и при определенном номинальном значении $R_{\text{ВН}}$, указываемом на шкале прибора. Пирометрические милливольтметры серийно выпускаются классов точности от 0,5 до 2,0.

Входное сопротивление электронных милливольтметров очень велико, и влияние сопротивления $R_{\text{В}}$ на показания пренебрежимо мало.

Термометры сопротивления. Термометры сопротивления, как и термопары, предназначены для измерения температуры газообразных, твердых и жидких тел, а также температуры поверхности. Принцип действия термометров основан на использовании свойства металлов и полупроводников изменять свое электрическое сопротивление в зависимости от температуры. Для проводников из чистых металлов эта зависимость в области температур от –200 до 0 °С имеет вид:

$$R_t = R_0[1 + At + Bt^2 + C(t - 100)t^3],$$

а в области температур от 0 °С до 630 °С

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2),$$

где R_t, R_0 – сопротивление проводника при температуре t и 0 °С;
A, B, C – коэффициенты;
T – температура, °С.

В диапазоне температур от 0 °С до 180 °С зависимость сопротивления проводника от температуры описывается приближенной формулой

$$R_t = R_o(1 + \alpha t),$$

где α – температурный коэффициент сопротивления материала проводника.

Для проводников из чистого металла $\alpha = 6{,}3 \cdot 10^{-3}$ град$^{-1}$.

Для полупроводниковых материалов зависимость сопротивления от температуры имеет вид

$$R_T = A\exp(B/T),$$

где A, B – постоянные;

T – температура, К.

Измерение температуры термометром сопротивления сводится к измерению его сопротивления R_t *c* последующим переходом к температуре t по формулам или градуировочным таблицам.

Различают проволочные и полупроводниковые термометры сопротивления. Проволочный термометр сопротивления представляет собой тонкую проволоку из чистого металла, закрепленную на каркасе из температуростойкого материала (чувствительный элемент), помещенную в защитную арматуру. Выводы от чувствительного элемента подведены к головке термометра.

Выбор для изготовления термометров сопротивления проволок из чистых металлов, а не сплавов, обусловлен тем, что ТКС чистых металлов больше, чем ТКС сплавов и ,следовательно, термометры на основе чистых металлов обладают большей чувствительностью.

Промышленностью выпускаются платиновые, никелевые и медные термометры сопротивления. Для обеспечения взаимозаменяемости и единой градуировки термометров стандартизованы значения их сопротивления R_0 и ТКС В табл. 1.6 приведены основные данные о термометрах сопротивления.

Зависимость сопротивления термометров ТСП, ТСН и ТСМ от температуры дается стандартными градуировочными таблицами, составленными для ряда значений R_0 (1, 10, 50, 100, 500 Ом).

Полупроводниковые термометры сопротивления (термисторы) представляют собой бусинки, диски или стержни из полупроводникового материала с выводами для подключения в измерительную цепь. Промышленность серийно выпускает множество типов термисторов в различном конструктивном оформлении.

Размеры термисторов, как правило, малы – около нескольких миллиметров, а отдельные типы – десятых долей миллиметра. Для предохранения от механических повреждений и воздействия среды термисторы защищаются покрытиями из стекла или эмали, а также металлическими чехлами.

Термисторы обычно имеют сопротивление от единиц до сотен килоом; их ТКС в рабочем диапазоне температур на порядок больше, чем у проволочных термометров. В качестве материалов для рабочего

тела термисторов используют смеси оксидов никеля, марганца, меди, кобальта, которые смешивают со связующим веществом, придают ему требуемую форму и спекают при высокой температуре. Применяют термисторы для измерения температур в диапазоне от –100 до 300 °С. Инерционность термисторов сравнительно невелика. К числу их недостатков следует отнести нелинейность температурной зависимости сопротивления, отсутствие взаимозаменяемости из-за большого разброса номинального сопротивления и ТКС, а также необратимое изменение сопротивления во времени.

Для измерения в области температур, близких к абсолютному нулю, применяются германиевые полупроводниковые термометры.

Измерение электрического сопротивления термометров производится с помощью мостов постоянного и переменного тока или компенсаторов. Особенностью термометрических измерений является ограничение измерительного тока с тем, чтобы исключить разогрев рабочего тела термометра. Для проволочных термометров сопротивления рекомендуется выбрать такой измерительный ток, чтобы мощность, рассеиваемая термометром, не превышала 20...50 мВт. Допустимая рассеиваемая мощность в термисторах значительно меньше и ее рекомендуется определять экспериментально для каждого термистора.

1.5. Методы и средства измерения времени

При испытании строительных материалов необходимо измерять время продолжительностью от нескольких секунд до нескольких часов и суток. Для этого в лабораториях применяют часы различных конструкций и секундомеры.

Настольные и настенные часы. Используются для измерения промежутков времени около 1 ч и более.

Секундомеры. Служат для измерения малых отрезков времени (от минут до долей секунды). В зависимости от количества стрелок, способа управления стрелками, характера работы часового механизма и его калибра (размера) установлено 8 типов секундомеров. Самый распространенный тип секундомеров с двумя стрелками: секундной и минутной, каждая из которых имеет свой циферблат. При использовании секундомера учитывают, что циферблат секундной стрелки может быть рассчитан как на 30, так и на 60 с. В строительных лабораториях обычно применяют секундомеры со скачком стрелки 0,1 или 0,2 с. Погрешность таких секундомеров за 30 мин работы в зависимости от класса от 0,3 до ±1 с.

Секундомер с одной секундой и одной минутой стрелками начинает работать при нажатии на пусковую кнопку. При втором нажатии на кнопку секундомер останавливается, фиксируя отмеренный отрезок времени. При третьем нажатии секундная и минутная стрелки возвращаются в исходное положение и секундомер вновь готов к работе.

Секундомеры с двумя секундными стрелками имеют и две управляющие кнопки. Одна из секундных стрелок, вспомогательная, может отмерять промежуточные отрезки времени путем включения и выключения специальной кнопки. Вторая – главная – измеряет текущее время и останавливается при остановке секундомера с помощью главной кнопки, фиксируя полное время испытаний.

Периодичность подзавода секундомеров при непрерывной работе 5–8 ч. По степени защиты от внешних воздействий секундомеры могут быть обыкновенные, водонепроницаемые, противоударные и антимагнитные. Правила обращения и техническая характеристика секундомеров приведены в паспорте, прикладываемом к каждому секундомеру.

Песочные часы. Применяются в строительных лабораториях для отмеривания промежутков времени в пределах 0,5–20 мин с погрешностью не более 3–30 с. Принцип действия таких часов заключается в том, что определенное количество мелкого однофракционного (с зернами одного размера) песка пересыпается из верхнего стеклянного резервуара в нижний через тонкое калиброванное отверстие. Для запуска таких часов их переворачивают.

1.6. Методы и средства измерений электрических и магнитных величин

По системе СИ единицы электрических и магнитных величин, применяемые в Российской Федерации, приведены в табл. 1.7.

Электроизмерительные приборы подразделяются на: *электромеханические* (магнитоэлектрической системы, электродинамические, электромагнитные с подвижным магнитом, индукционной системы, электромагнитные); *электротермические* (с нагреваемой нитью (рис. 1.23), биметаллические, термоэлектрические преобразователи).

Таблица 1.7

Единицы электрических и магнитных величин

Величина	Наименование	Обозначение		Величина	Наименование	Обозначение	
		русское	международное			русское	международное
1	2	3	4	5	6	7	8
Сила электрического тока, магнитодвижущая сила	Ампер	А	A	Электрическая постоянная, абсолютная диэлектрическая проницательность, диэлектрическая восприимчивость	Фарад на метр	Ф/м	F/m
Линейная плотность электрического тока, напряженность магнитного поля	Ампер на метр	А/м	A/m	Магнитная индукция, плотность магнитного поля	Тесла	Тл	Т
Поверхностная плотность электрического тока	Ампер на квадратный метр	$А/м^2$	A/m^2	Индуктивность, взаимная индуктивность, магнитная проводимость	Генри	Гн	Н
Магнитный момент	Ампер квадратный метр	$А·м^2$	$A·m^2$	Магнитное сопротивление	Генри в минус первой степени	$Гн^{-1}$	$Н^{-1}$
Количество электричества, электрический заряд, поток электрического смещения	Кулон	Кл	С	Магнитная постоянная, абсолютная магнитная проницаемость	Генри на метр	Гн/м	Н/m
Линейная плотность электрического заряда	Кулон на метр	Кл/м	С/m	Магнитный поток	Вебер	Вб	Wb
Электрическое смещение, поверхностная плотность электрического заряда	Кулон на квадратный метр	$Кл/м^2$	$С/m^2$	Электрическая проводимость	Сименс	См	S

Окончание табл. 1.7

1	2	3	4	5	6	7	8
Объемная плотность электрического заряда	Кулон на кубический метр	Кл/м^3	C/m^3	Удельная электрическая проводимость	Сименс на метр	См/м	S/m
Момент электрического диполя	Кулонметр	Кл·м	C·m	Электрическое сопротивление	Ом	Ом	Щ
Напряжение потенциала, разность потенциалов, электродвижущая сила	Вольт	В	V	Удельное электрическое сопротивление	Ом-метр	Ом·м	Ыщ
Напряженность электрического поля	Вольт на метр	В/м	V/m	Мощность: активная, реактивная, полная	Ватт	Вт	W
Электрическая емкость	Фарад	Ф	F				

1.6.1. Классификация электроизмерительных приборов

Электроизмерительные приборы в соответствии с методами измерения делят на приборы непосредственной оценки и сравнения. В приборах непосредственной оценки мера используется при градуировке, а в приборах сравнения (компараторах) – в процессе измерения и чаще всего вмонтирована в прибор.

По характеру получения информации об измеряемой величине приборы непосредственной оценки бывают показывающие, допускающие только отсчитывание показаний; интегрирующие, в которых измеряемая величина подвергается интегрированию за время измерения; логометры, измеряющие отношение двух величин.

Показывающие приборы по способу получения отсчета делят на приборы с визуальным отсчетом (стрелочные или цифровые) и регистрирующие (самописцы или печатающие).

Приборы непосредственной оценки по принципу действия, заложенному в них для осуществления измерения, делят на приборы:

– электромеханические, в которых электромагнитная энергия, подведенная к прибору непосредственно из измеряемой цепи, преобразуется в механическую энергию углового перемещения подвижной части относительно неподвижной;

– электротепловые, в которых электромагнитная энергия преобразуется в механическую энергию перемещения подвижной части после промежуточного преобразования в тепловую энергию;

– электронно-лучевые, в которых электромагнитная энергия используется для перемещения электронного луча в электронной трубке.

Наиболее распространенные в практике измерений электромеханические приборы предназначены для измерения всех основных электрических величин (напряжения, тока, сопротивления, мощности и др.) в электрических цепях.

Электромеханические измерительные приборы

Приборы магнитоэлектрической системы (рис. 1.21) могут работать на постоянном токе, а при использовании дополнительных преобразований – и на переменном.

В однородном магнитном поле постоянного магнита располагается на опорах рамка, которая может вращаться. Ток, проходящий через витки этой рамки, имеет направление, перпендикулярное направлению магнитных линий поля.

Электрический ток подастся через два пружинных элемента (ленточные растяжки, спиральные пружины), которые одновременно создают механический противодействующий момент.

Электродинамические измерительные приборы основаны на принципе взаимодействия токов. Они могут применяться для измерений как на переменном, так и на постоянном токе.

Электродинамический измерительный прибор с *замкнутой магнитной цепью* (рис. 1.22) работает как прибор магнитоэлектрической системы, но с той разницей, что вместо постоянного магнита используется электромагнит.

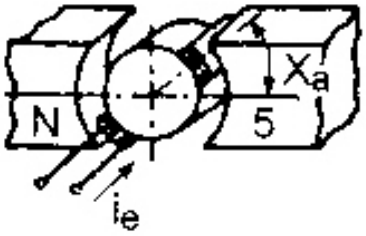


Рис. 1.21. Приборы магнитоэлектрической системы

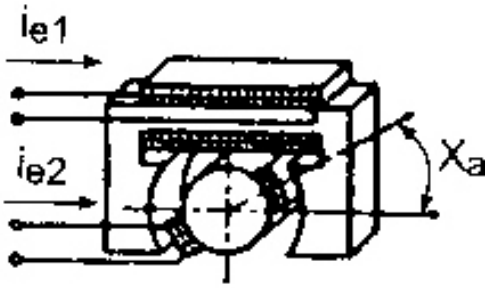


Рис. 1.22. Электродинамические приборы (с замкнутой магнитной цепью)

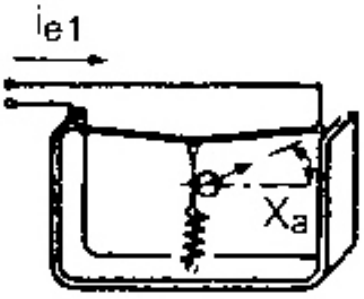


Рис.1.23. Приборы с нагреваемой нитью

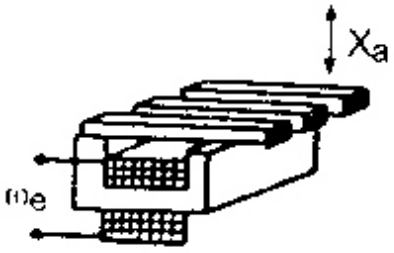


Рис. 1.24. Вибрационные приборы

В электродинамическом измерительном приборе *без ферромагнитного сердечника* (рис. 1.25) полностью отсутствуют ферромагнитные элементы. При возбуждении магнитного поля принцип действия прибора такой же, как у прибора с замкнутой магнитной цепью.

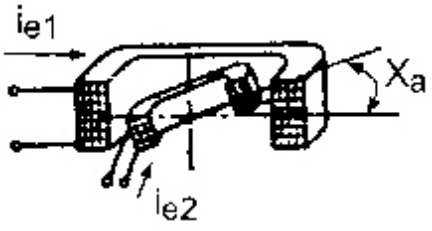


Рис. 1.25. Электродинамические приборы

Электромагнитные измерительные приборы с подвижным магнитом также основаны на магнитоэлектрическом принципе. Они могут быть использованы для измерений на постоянном токе, а с дополни-

тельными преобразователями – и на переменном токе. В поле неподвижной катушки находится вращающийся постоянный магнит (магнитная игла, диск или полый цилиндр), который устанавливается в направлении постоянного внешнего поля (например, магнитного поля Земли). При прохождении тока вращающийся магнит перемешается в направлении результирующего поля, образуемого направляющим полем и полем катушки.

Прибор с подвижным магнитом представляет собой обращенный измерительный прибор магнитоэлектрической системы, то есть катушка и постоянный магнит меняются местами.

Электроизмерительные приборы индукционной системы могут применяться только для измерений на переменном токе. Во вращающемся магнитном поле располагается подвижный замкнутый проводник (барабан или диск). В результате наведения вихревых токов подвижный проводник перемешается в направлении вращающегося магнитного поля.

Электромагнитные измерительные приборы (рис. 1.26) могут быть использованы для измерений на постоянном и переменном токе. Важнейшими типами этих приборов являются приборы с плоской и круглой катушками. В *приборах* с *плоской катушкой* внутри катушки возбуждения находится эксцентрично закрепленная подвижная ферромагнитная пластина, ось поворота которой расположена перпендикулярно оси катушки возбуждения. При протекании электрического тока пластинка под воздействием электромагнитного поля перемещается в катушке, то есть поворачивается вокруг своей оси.

Рис. 1.26. Электромагнитные приборы

В *приборе* с *круглой катушкой* внутри катушки возбуждения находятся неподвижная и подвижная ферромагнитные пластинки, причем ось поворота последней параллельна оси катушки. При протекании электрического тока пластинки намагничиваются в одинаковом направлении и, следовательно, отталкиваются друг от друга. При этом подвижная пластинка поворачивается в направлении меньшей ширины неподвижной пластинки.

Электростатические измерительные приборы могут быть использованы для измерений как на постоянном, так и на переменном токе. Измерительный прибор состоит из конденсатора, электроды которого закреплены так, что имеется возможность, прикладывая электрическое напряжение, получать механическое усилие, действующее в направ-

лении увеличения емкости. Изменение емкости может осуществляться путем изменения либо эффективной площади электродов, либо расстояния между электродами.

1.6.2. Методы измерения тока и напряжения

Измерение тока и напряжения осуществляется в цепях как постоянного, так и переменного тока широкого диапазона частот. Наиболее высокую точность измерений получают в цепях постоянного тока. При измерениях в цепях переменного тока точность измерений понижается с повышением частоты, здесь кроме оценки величин действующего, среднего и максимального значений в ряде случаев требуется наблюдение формы исследуемого сигнала и мгновенных значений тока и напряжения. Выбор измерителей тока и напряжения обусловлен примерным амплитудным, а также частотным диапазоном, формой кривой измеряемой величины, мощностью цепи, в которой осуществляется измерение, мощностью, потребляемой прибором, необходимой точностью измерения и т.д. Если необходимая точность измерения, допустимая мощность потребления и другие требования могут быть обеспечены амперметрами и вольтметрами электромеханической группы, то, конечно, следует предпочесть этот простой метод непосредственного отсчета любому другому.

В маломощных цепях постоянного и переменного токов для измерения напряжения обычно пользуются электронными вольтметрами непосредственной оценки со стрелочным или цифровым отсчетом. Измерение же тока осуществляется косвенным методом: измерением напряжения на образцовом резисторе с известным сопротивлением. При необходимости измерения тока и напряжения с более высокой точностью следует использовать приборы, основанные на методах сравнения. Для наблюдения формы и определения мгновенных значений исследуемого напряжения и тока применяют осциллографы.

Измерение постоянного тока. Диапазон величин постоянных токов, с измерением которых приходится встречаться в различных областях техники, чрезвычайно велик: от токов 10^{-17}А до десятков и сотен тысяч ампер. Поэтому, естественно, методы и средства измерения их различны.

Токи 10^{-12}–10^{-6} А можно измерять непосредственно с помощью высокочувствительных магнитоэлектрических зеркальных гальванометров и гальванометрических компенсаторов.

Основные элементы компенсаторов – фотоусилитель и гальванометр.

Измерение магнитоэлектрическими амперметрами. Для измерения постоянных токов в основном используют амперметры магнитоэлектрической системы, предел измерения которых определяется током, необходимым для полного отклонения подвижной части прибора. Этот ток чаще всего не превышает 20–50 мА (максимальное его значение 300 мА). В микро- и миллиамперметрах измерительной цепью является только рамка механизма.

Измерение электродинамическими амперметрами. Применение электродинамических амперметров возможно для измерения токов 0,1–10 А. Изменение пределов измерения достигается секционированием неподвижных катушек, а также комбинацией последовательно-параллельного соединения секций неподвижных катушек с подвижной катушкой прибора. Использование электродинамических приборов для измерения токов миллиамперного диапазона в маломощных цепях ограничивается большим собственным потреблением энергии и малой чувствительностью.

Измерение с помощью компенсационного метода. Измерение тока этим методом может быть осуществлено косвенным путем. На образцовом сопротивлении R измеряют напряжение U (рис. 1.27). Значение силы тока $I=U/R$.

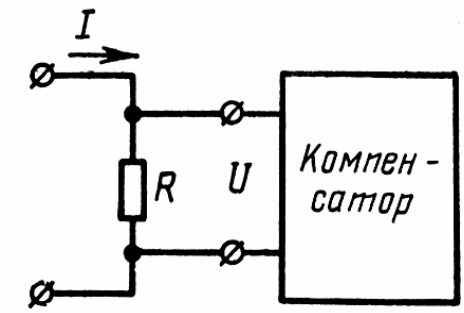


Рис. 1.27. Схема измерения тока компенсатором

Малое сопротивление R выбирают с таким значением, чтобы не нарушался режим цепи, в котором осуществляется измерение, и при наибольшем значении тока I падение напряжения на нем не превышало бы верхнего предела измерения компенсатора.

Метод применяется при поверке и градуировке точных измерителей тока, а также при измерениях в маломощных цепях.

Измерение тока промышленной частоты. Измерение токов промышленной частоты выполняют в основном с помощью приборов электромагнитной системы, а при повышенной точности – приборами электродинамической системы.

Диапазон измерения токов весьма широк. Изменение пределов измерения в приборах электромагнитной системы осуществляется путем изменения ампер-витков катушки прибора. Для стационарных измерений используют однопредельные амперметры, для переносных – многопредельные амперметры с секционированными катушками. Переключение одинаковых секций катушки с последовательного соединения на параллельное позволяет получать пределы измерения с

соотношением 1:2:4. Секции катушки можно выполнить с разным числом витков из проволоки различного диаметра (рис. 1.28).

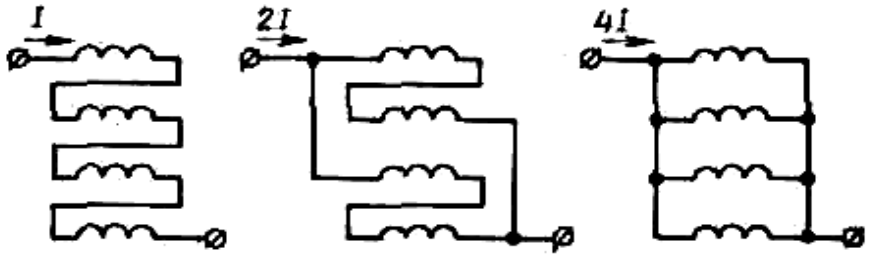


Рис. 1.28. Схема соединений катушки электромагнитного амперметра с соотношением пределов 1:2:4

Измерение тока повышенной и высокой частоты. С увеличением частоты точность измерения переменного тока приборами электромагнитной и электродинамической систем в обычном исполнении падает. Приборы специального изготовления имеют расширенный диапазон частот (примерно до 8–10 кГц) и используются для измерения токов в мощных цепях.

В маломощных цепях повышенной и высокой частот измерение тока осуществляется амперметрами выпрямительной и термоэлектрической систем, электронным амперметром, электронным вольтметром на известном сопротивлении. Амперметр должен обладать минимальными значениями сопротивлений, индуктивности и ёмкости. С увеличением частоты сказывается влияние паразитных емкостей. Для уменьшения погрешностей от токов утечки амперметр следует включать на участке с потенциалами, наиболее близкими к потенциалу земли (рис. 1.29). Это особенно важно при измерениях на высокой частоте.

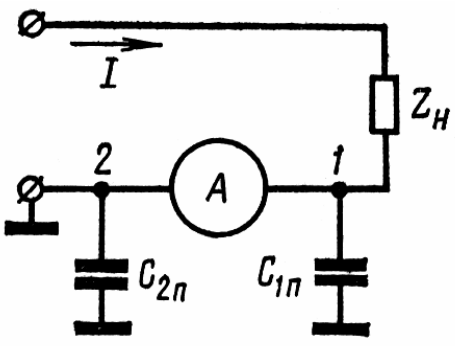


Рис. 1.29. Схема правильного включения амперметра

Измерение напряжения на промышленной частоте. Измерение напряжения на промышленной частоте может быть выполнено любыми вольтметрами, работающими на частоте 50 Гц, но измерения напряжения на промышленной частоте осуществляют в основном вольтметрами электромагнитной и электродинамической систем.

Измерение напряжения на повышенной и высокой частотах. Измерение напряжения на повышенной и высокой частотах осущест-

вляют вольтметрами, работающими в указанном диапазоне частот, а также электронными осциллографами.

Выпрямительные вольтметры представляют собой сочетание какой-либо схемы выпрямления с добавочными сопротивлениями. На рис. 1.30 показана схема вольтметра для измерения малых напряжений. Добавочные сопротивления $R_{доб}$ включают в цепь переменного тока перед выпрямляющим устройством. Величина входного сопротивления вольтметра в основном определяется величиной $R_{доб}$, так как $R_{доб}>R_i+R_п$, зависит от предела измерения напряжения и составляет величину 1,5–2 кОм/В. То, что указанная схема более чувствительна к измерению малых напряжений, объясняется тем, что на диод падает напряжение почти в два раза большее, чем в симметричной мостовой схеме с четырьмя диодами. Работа диода при этом осуществляется на квадратичном участке характеристики и через измерительный прибор проходит ток вдвое больший, чем в симметричной мостовой схеме.

При измерении достаточно больших напряжений применяют симметричную мостовую схему, показанную на рис. 1.31. Работа этой схемы осуществляется на линейном участке вольтамперной характеристики диодов.

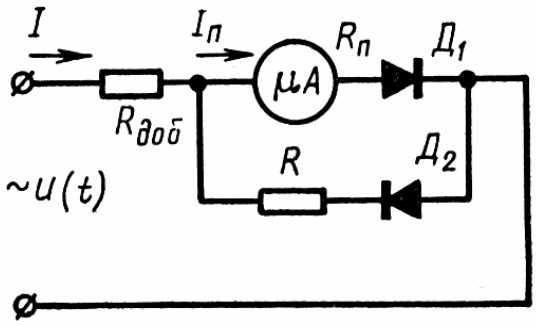


Рис. 1.30. Схема выпрямительного вольтметра для измерения малых напряжений

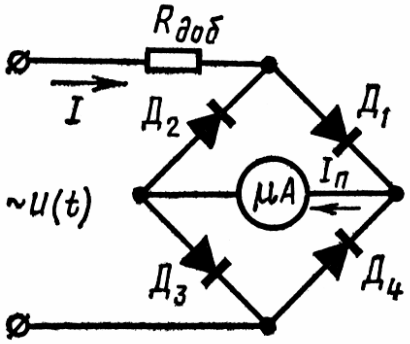


Рис. 1.31. Схема выпрямительного вольтметра для измерения больших напряжений

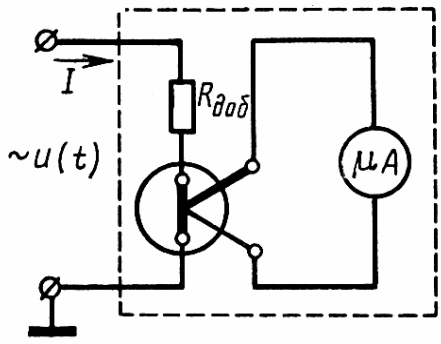


Рис. 1.32. Схема термовольтметра

Термоэлектрические приборы являются измерителями тока, однако в последнее время их применяют и для измерения напряжения, включая последовательно с нагревателем добавочное безреактивное сопротивление $R_{доб}$ (рис. 1.32).

К недостаткам термовольтметров относят низкое входное сопротивление (около 200–300 Ом/В), определяемое проходящим через термопреобразователь током; малую чувствительность, а также большое собственное потребление мощности.

Электростатические вольтметры используют в основном для измерения высоких напряжений переменного тока с частотой от нескольких герц до десятков мегагерц (с погрешностью до 3 %). Расширение пределов измерения электростатическими вольтметрами осуществляется с помощью емкостных делителей.

Измерение напряжения электронными вольтметрами. Электронные вольтметры (ЭВ) со стрелочным и цифровым отсчетом являются наиболее распространенными приборами при измерении переменных напряжений на повышенной и высокой частотах в маломощных цепях. Выбор ЭВ определяется схемами входа и детектора, полным входным сопротивлением, градуировкой шкалы, зависимостью показаний прибора от формы измеряемого напряжения, пределом измерений, чувствительностью и погрешностью.

Осциллографы являются приборами, чувствительными к напряжению, поэтому все измерения, выполняемые ими, сводятся к измерению отклонения электронного луча под действием приложенного напряжения.

Для конкретного исследования сигнала необходимо правильно выбрать тип осциллографа, подключить последний к объекту измерения, заземлить, а затем выбрать вид развертки, ее длительность или частоту, коэффициенты деления аттенюатора и усиление тока, вид синхронизации и ее амплитуду.

Правильный учет возможных искажений и погрешностей определяет точность полученных результатов измерения.

Измерение мощности в цепи однофазного синусоидального тока. Для измерения мощности неподвижную катушку ваттметра включают последовательно с нагрузкой, мощность которой необходимо измерить, а подвижную катушку – параллельно к нагрузке (рис. 1.33).

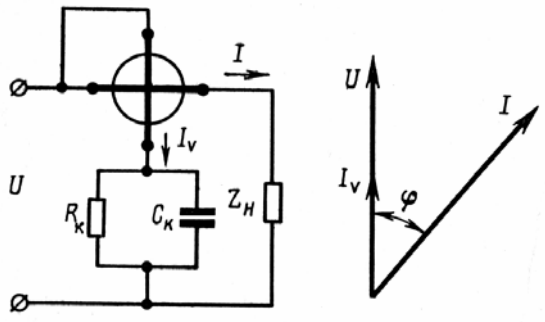


Рис. 1.33. Включение электродинамического ваттметра и векторная диаграмма

Измерение мощности в цепях повышенной и высокой частот. Для измерения мощности в цепях повышенной и высокой частот применяют в основном электронные ваттметры, осциллографы и специальные радиотехнические методы. В некоторых электронных ваттметрах используют электродинамические измерительные механизмы с предварительным усилением тока и напряжения либо с предварительным выпрямлением этих величин.

Измерение мощности с помощью осциллографа. К косвенным методам измерения мощности относят и осциллографический метод, который рекомендуется применять, когда цепь питается напряжением несинусоидальной формы, при высоких частотах, маломощных источниках напряжения, работе электронных схем в ключевом режиме, наличии в цепи нелинейных элементов и т.д.

Измерение частоты переменного тока от 20 до 2500 Гц в цепях питания осуществляется с относительно не высокой точностью частотомерами электромагнитной, электродинамической и ферродинамической систем с непосредственным отсчетом частоты по шкале логометрического измерителя.

Для измерения низких и высоких частот применяют частотомеры, принцип действия которых основан на методах мостовом, заряда и разряда конденсатора, сравнения измеряемой частоты с образцовой, резонансном. Наиболее широкополосными и точными являются цифровые частотомеры, построенные по методу дискретного счета.

Электромеханические частотомеры. Электромеханические частотомеры представляют собой логометры электромагнитной, электродинамической, ферродинамической, выпрямительных систем с реактивными сопротивлениями в цепи воспринимающих элементов. Работают они на принципе измерения реактивного сопротивления в зависимости от частоты переменного тока.

Мостовой метод измерения частоты. Мостовой метод измерения частоты основан на использовании частотозависимых мостов переменного тока, питаемых напряжением измеряемой частоты f_x.

Мостовой метод измерения частоты применяют для измерения низких частот в пределах 20 Гц – 20 кГц при погрешности измерений 0,5–1 %. В качестве индикатора равновесия используют электронный милливольтметр, а при измерении частот 200 Гц – 5 кГц – телефон. Несинусоидальность напряжения измеряемой частоты затрудняет процесс уравновешивания, мост остается неуравновешенным за счет наличия гармоники, и возрастает погрешность измерения.

Измерительные приборы непосредственной оценки

Магнитоэлектрические измерительные приборы. Приборы магнитоэлектрической системы работают на принципе взаимодействия поля постоянного магнита с рамкой (катушкой), по которой проходит измеряемый ток. В результате этого взаимодействия создается вращающий момент, который отклоняет подвижную часть механизма относительно неподвижной. В зависимости от того, какой из двух взаимодействующих элементов (магнит или рамка) является подвижной частью, различают механизмы с подвижным магнитом и с подвижной рамкой. По конструкции магнитной системы механизмы с подвижной рамкой можно разделить на механизмы с внешним и с внутрирамочным магнитом.

Измерительные приборы электромагнитной системы. В приборах электромагнитной системы (рис. 1.34) для создания вращающего момента используют действие магнитного поля катушки 1 с током I на подвижный пермаллоевый лепесток 2, эксцентрично насаженный на ось 3 прибора.

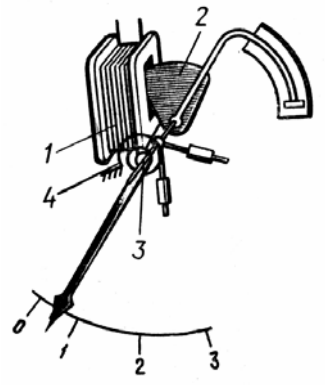


Рис. 1.34. Электроизмерительный механизм электромагнитного прибора

Противодействующий момент создается спиральной пружинкой 4. При прохождении по неподвижной плоской катушке измеряемого тока I возникает магнитное поле, которое, воздействуя на лепесток, стремится расположить его так, чтобы энергия магнитного поля была наибольшей, т.е. втянуть лепесток внутрь катушки. Подвижная часть поворачивается до тех пор, пока вращающий момент не станет равным противодействующему моменту. Энергия магнитного поля катушки с током

$$W_э = \frac{LI^2}{2},$$

где L – индуктивность катушки.

Вращающий момент

$$M_{вр} = \frac{\partial W_э}{\partial \alpha} = (I^2 / 2)(\partial L / \partial \alpha).$$

Уравнение шкалы прибора определяют из равенства $M_{вр}=M_{пр}$:

$$\alpha = \frac{W}{2} I^2 \frac{\partial L}{\partial \alpha}.$$

Шкала прибора квадратичная, поэтому она вначале сжата, а в конце растянута. Поскольку α является функцией I^2, знак угла поворота не зависит от направления тока в катушке, поэтому приборы электромагнитной системы одинаково пригодны для измерения в цепях постоянного и переменного тока.

Измерительные приборы электростатической системы. Приборы электростатической системы работают на принципе взаимодействия электрически заряженных электродов, разделенных диэлектриком. Конструктивно они представляют собой разновидность плоского конденсатора, так как в результате перемещения подвижной части изменяется емкость системы. Практически применяют две разновидности таких приборов: а) с поверхностным механизмом (изменение емкости осуществляется за счет изменения активной площади электродов); б) с линейным механизмом (изменение емкости осуществляется за счет изменения расстояния между электродами).

Измерительные приборы магнитоэлектрической системы с преобразователями. Приборы магнитоэлектрической системы, по сравнению с приборами других систем, обладая более высокой чувствительностью, точностью и малым собственным потреблением мощности, пригодны только для измерения в цепях постоянного тока. Сочетание магнитоэлектрического прибора с каким-либо преобразователем переменного тока в постоянный позволяет использовать его и для измерения в цепях переменного тока. Приборы с преобразователями более чувствительны и имеют более широкий частотный диапазон, чем приборы электромагнитной и электродинамической систем.

Логометры. Приборы электромеханической группы, измеряющие отношение $\alpha = F\left(\frac{Y_1}{Y_2}\right)^n$ двух электрических величин Y_1 и Y_2, где n – коэффициент, зависящий от системы измерительного механизма.

Особенность логометров заключается в том, что вращающий $M_{\text{вр}}$ и противодействующий $M_{\text{пр}}$ моменты в них создаются электрическим путем, поэтому логометр имеет два воспринимающих элемента, на которые воздействуют величины Y_1 и Y_2, составляющие измеряемое отношение. Направления величин Y_1 и Y_2 должны выбираться такими, чтобы моменты $M_{\text{вр}}$ и $M_{\text{пр}}$, действующие на подвижную часть, были направлены навстречу друг другу, при этом подвижная часть будет поворачиваться под действием большего момента. Момент, направление которого совпадает с направлением перемещения подвижной части,

должен уменьшаться, другой момент – возрастать. В положении равновесия сумма моментов должна быть равна нулю: $M_{вр} + M_{пр} = 0$.

Для выполнения этих условий моменты $M_{вр}$ и $M_{пр}$ должны различным образом зависеть от угла поворота подвижной части прибора.

Логометр магнитоэлектрической системы. Устройство логометра магнитоэлектрической системы следующее. В неравномерное магнитное поле постоянного магнита (рис. 1.35) помещают подвижную часть, содержащую две рамки, жестко скрепленные под некоторым углом δ (30–90°) и насаженные на общую ось. Токи I_1 и I_2 подводят к рамкам с помощью тонких металлических токоподводов, не создающих противодействующего момента (безмоментные).

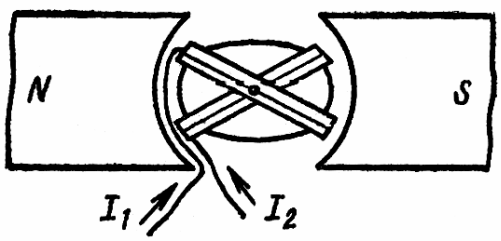


Рис. 1.35. Механизм логометра магнитоэлектрической системы

Измерительные мостовые схемы. Приборы, служащие для сравнения двух напряжений или двух сопротивлений. В основе работы мостовых схем заложены дифференциальный или нулевой методы. При дифференциальном методе делают неуравновешенно показывающие мостовые схемы, а при нулевом – уравновешенные или нулевые. В уравновешенных мостовых схемах сравнение происходит при помощи двух или более вспомогательных сопротивлений, подбираемых таким образом, чтобы со сравниваемыми сопротивлениями они составляли замкнутый контур (четырехполюсник), питаемый от одного источника и имеющий две равнопотенциальные или близкопотенциальные точки, которые обнаруживают индикатором равновесия. Отношение между вспомогательными сопротивлениями является мерой отношения между сравниваемыми величинами. Структурная схема измерительного моста показана на рис. 1.36.

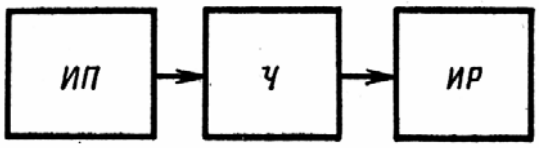


Рис. 1.36. Структурная схема измерительного моста:
ИП – источник питания; Ч – четырехполюсник;
ИР – индикатор равновесия

Измерительные мостовые схемы различают по роду тока источника питания и схемному выполнению четырехполюсника.

Мостовые схемы постоянного тока. Данные схемы делят на двухплечные, четырехплечные (одинарные) и шестиплечные (двойные).

Индикаторами равновесия в них служат гальванометры постоянного тока (стрелочные и зеркальные), электрометры, автокомпенсационные микровольтнаноамперметры.

Мостовые схемы переменного тока. Эти схемы делят на одинарные, двойные, Т-образные. По характеру сопротивления плеч мостовые схемы бывают с индуктивными и безындуктивными связями, а по влиянию частоты – частотонезависимые (равновесие их не зависит от частоты питающего напряжения) и частотозависимые (их равновесие зависит от частоты питающего напряжения).

В мостовых схемах переменного тока в качестве индикаторов равновесия используют гальванометр магнитоэлектрической системы с подвижным магнитом (вибрационный), магнитоэлектрический микроамперметр с электронным усилителем и полупроводниковым выпрямителем, электронно-лучевую трубку, телефон и др.

Мостовые схемы постоянного тока используют для измерения больших и малых сопротивлений, а мостовые схемы переменного тока – для измерения активного сопротивления, индуктивности, взаимоиндуктивности, добротности катушек, емкости конденсаторов, тангенса угла потерь, частоты, коэффициента трансформации трансформаторов, магнитных параметров, а также для измерения неэлектрических величин.

Электрические методы широко используются при оценке свойств строительных материалов, например, при изучении кинетики схватывания и твердения вяжущих. В процессе твердения цемента происходят существенные изменения концентрации ионов в исходной фазе, а также изменения химического состава самой жидкой фазы. Измерение электропроводности исследуемых цементных систем позволяет оценивать процессы, происходящие в них. Электропроводность цементных систем измеряют с помощью мостика Уитстона. Сопротивление исследуемого цементного раствора определяется соотношением

$$\frac{a}{b} = \frac{R}{R_1},$$

где a и b – плечи моста;

R – сопротивление магазина;

R_1 – сопротивление исследуемого строительного раствора.

При оценке сквозной пористости композиционных строительных материалов пользуются соотношением

$$V_c = \frac{\rho_1}{\rho_2} 100,$$

где V_c – объем сквозных пор по отношению к объему образца;

ρ_1 – удельное сопротивление электролита, Ом·см;

ρ_2 – удельное сопротивление образца, насыщенного электролитом, Ом·см.

В качестве электролита применяют водную вытяжку из дробленного цементного камня. Сопротивление электролита измеряют по обычной мостовой схеме на переменном токе с частотой 1500 Гц.

При определении коррозионной стойкости строительных материалов применяют кондуктометрический метод, который основан на измерении изменения электропроводности агрессивного раствора вследствие растворения в нем компонентов исследуемого строительного материала.

Электрические методы также применяют при измерении pH растворов, потенциометрическом титровании и т.д.

1.6.3. Измерение магнитных величин

Экспериментальное исследование магнитных полей широко используется в различных областях науки и техники. При выполнении такого рода исследований возникает необходимость в измерениях характеристик магнитного поля (магнитодвижущая сила, магнитный поток, магнитная индукция, напряженность магнитного поля и т.д.) и в определении характеристик ферромагнитных материалов (кривые намагничивания, гистерезисные циклы, потери на гистерезис и вихревые потоки и т.д.).

1.6.3.1. Измерение характеристик магнитного поля

Измерение постоянного магнитного потока баллистическим гальванометром. Измерение постоянного магнитного потока баллистическим методом основано на измерении количества электричества в импульсе тока, возникающего в замкнутом контуре измерительной катушки – баллистического гальванометра, при изменении измеряемого потока, сцепленного с измерительной катушкой.

Измерительная катушка, имеющая $\omega_и$ витков и соединенная с зажимами баллистического гальванометра БГ, помещается в исследуемое магнитное поле или охватывает магнитопровод с измеряемым магнитным потоком (рис. 1.37). Измерение магнитного потока, сцепленного с измерительной катушкой, обычно достигается удалением ее из магнитного поля, поворотом на 180°, выключением (или измерением направления) тока, создающего магнитное поле. Для правильного измерения магнитного потока необходимо, чтобы время его измерения было значительно меньше периода собственных колебаний подвижной

системы гальванометра. При соблюдении этого условия величина первого максимального отброса подвижной части гальванометра пропорциональна количеству электричества, протекающего через рамку.

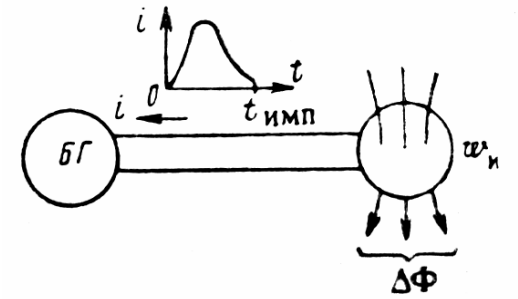


Рис. 1.37. Принципиальная схема измерения потока баллистическим методом

1.6.3.2. Измерение магнитного потока веберметром

Веберметр (флюксметр) представляет собой переносный прибор, служащий для измерения магнитного потока (рис. 1.38). По устройству веберметр является стрелочным магнитоэлектрическим гальванометром, у которого отсутствует противодействующий момент. Ток в подвижной части прибора подводится при помощи безмоментных поводков. Измерение веберметром производится по той же принципиальной схеме, что и измерение баллистическим гальванометром.

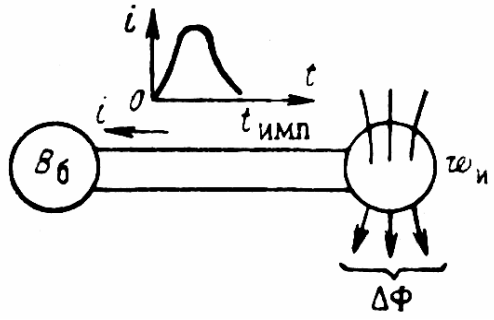


Рис. 1.38. Принципиальная схема измерения магнитного потока веберметром

В измерительной катушке, соединенной с зажимами веберметра, тем или иным способом изменяется измеряемый магнитный поток. Это вызывает импульс тока в катушке подвижной части прибора. Однако приведенный выше анализ измерения магнитного потока баллистическим гальванометром здесь непригоден, так как характер движения подвижных частей веберметра и баллистического гальванометра различен. Это объясняется тем, что подвижная часть веберметра обладает ничтожным моментом инерции. Поэтому в отличие от баллистического гальванометра нельзя считать, что подвижная часть веберметра не успевает повернуться на сколько-нибудь значительный угол за время прохождения импульса тока. Для установления связи между изменением угла поворота стрелки веберметра и измеряемым потоком воспользуемся принципом постоянства потокосцепления сверхпроводящего контура.

Этот принцип может быть сформулирован следующим образом: полное потокосцепление сверхпроводящего контура (т.е. контура, у которого активное сопротивление равно нулю) остается постоянным в любых условиях и в любом режиме. Покажем справедливость этого принципа на простейшем примере. Пусть ψ – потокосцепление контура, создаваемое, например, полем постоянного магнита. Если перемещать постоянный магнит, то, очевидно, в контуре возникает ЭДС $e = -d\psi / dt$. Под действием ЭДС по контуру потечет ток, который вызовет ЭДС самоиндукции $e_c = -Ldi / dt$, где L – индуктивность контура. Запишем уравнение второго закона Кирхгофа для рассматриваемого контура

$$e + e_c = ir .$$

Так как по условию $r = 0$, то, подставив значения ЭДС e и e_c, получим:

$$-\frac{d\psi}{dt} - \frac{Ldi}{dt} = 0 ,$$

откуда следует, что

$$\psi + Li = \psi + \psi_c = \text{const} .$$

Это уравнение представляет собой аналитическое выражение сформулированного выше принципа постоянства потокосцепления сверхпроводящего контура.

1.6.3.3. Измерение переменного магнитного потока индукционным способом

Измерение переменного магнитного потока индукционным способом основано на использовании закона электромагнитной индукции. Сущность метода заключается в измерении ЭДС измерительной катушки, помещенной в исследуемое переменное магнитное поле. Измерение переменой, в общем случае несинусоидальной ЭДС, может быть произведено различными способами: вольтметром переменного тока, магнитоэлектрическим прибором с выпрямителем, компенсатором переменного тока. В соответствии с этим будут измерены различные значения напряжения: действующее, среднее, действующее значение первой гармоники. Если измерено действующее значение ЭДС в измерительной катушке, то по формуле

$$E = 4k_f \omega_и f \Phi_m ,$$

где k_f – коэффициент формы кривой;

f – частота изменения измеряемой ЭДС;

$w_{\text{и}}$ – число витков измерительной катушки,

можно определить максимальный поток. Точность определения магнитного потока этим способом будет определяться точностью измерения ЭДС. Кроме того, в случае ЭДС несинусоидальной формы необходимо знать коэффициент формы k_f. Последний же, если не проводить добавочных исследований, обычно не известен. По изложенным причинам более точное измерение магнитного потока можно произвести при помощи магнитоэлектрических приборов с выпрямителями, особенно в случае применения механических выпрямителей.

Известно, что если магнитный поток изменяется по периодическому закону таким образом, что кривая его изменения симметрична относительно оси абсцисс – оси времени, то среднее значение ЭДС, наведенной потоком в измерительной катушке при однополупериодном выпрямлении, может быть определено по следующей формуле:

$$E_{\text{ср}} = 2\omega_{\text{и}} f \Phi_m .$$

Поэтому, измерив среднее значение ЭДС в измерительной катушке, можно определить максимальное значение потока Φ_m. Вольтметры с механическими выпрямителями, имеющие класс точности 0,2, могут обеспечить измерение средних значений напряжений с погрешностью до 1 %. Основным недостатком вольтметров с механическими выпрямителями является узкий частотный диапазон.

Если измерение ЭДС измерительной катушки производится компенсатором переменного тока, то, как указывалось выше, будет зарегистрировано действующее значение ЭДС первой гармоники. По этой причине по формуле $E = 4k_f \omega_{\text{и}} f \Phi_m$ будет определена величина Φ_m, соответствующая первой гармонике измеряемого потока. Очевидно, что в этой формуле для данного случая коэффициент формы кривой следует брать равным 1,11. Так как форма кривой ЭДС в общем случае несинусоидальная, то в зависимости от конкретных условий измерение магнитного потока по первой гармонике ЭДС вызовет погрешность тем большую, чем больше отличается форма ЭДС от синусоидальной. Учет амплитуд высших гармоник магнитного потока, очевидно, может быть произведен, если имеется возможность для измерения высших гармоник ЭДС измерительной катушки. Однако такой метод определения магнитного потока становится громоздким и неудобным. По этой причине метод измерения переменного магнитного потока с использованием компенсатора переменного тока целесообразно применять в тех случаях, когда кривая ЭДС в измерительной катушке синусоидальна или незначительно отличается от синусоиды.

Если в кривой ЭДС высшие гармоники играют существенную роль, то более точным и удобным является метод измерения переменного тока путем измерения среднего значения ЭДС при помощи магнитоэлектрического измерителя и выпрямителя.

1.6.3.4. Измерение магнитной индукции

Магнитная индукция является основной характеристикой магнитного поля. Она, как известно, представляет собой векторную величину, определяющую интенсивность магнитного поля и его направление в каждой точке. Определение режима работы различного рода электромагнитных и электромеханических устройств связано с расчетом или экспериментальным определением магнитной индукции. Экспериментальное определение магнитной индукции в равномерном постоянном магнитном поле сводится к определению магнитного потока, после чего можно найти магнитную индукцию по формуле

$$\mathrm{B} = \frac{\Phi}{s},$$

где s – площадь сечения измерительной катушки.

Измерение магнитной индукции в неравномерном магнитном поле сводится по существу к определению этой величины в определенной точке магнитного поля. Для этого измерительная катушка выполняется небольших размеров и помещается в различные точки исследуемого магнитного поля. Чем меньше габариты измерительной катушки, тем, очевидно, точнее можно определить индукцию в данной точке поля. Однако уменьшение площади измерительной катушки ограничивается чувствительностью гальванометра.

Необходимым условием точного измерения магнитного потока и, следовательно, магнитной индукции является такое выполнение измерительной катушки, при котором все ее витки сцеплялись бы с одним и тем же потоком. Для этого необходимо, чтобы эти витки располагались в одной плоскости, перпендикулярной к линиям поля.

Максимальное значение индукции B_m переменного магнитного потока определяется по той же методике, что и магнитная индукция постоянного поля. Вначале определяется (индукционным способом) максимальный магнитный поток Φ_m, а затем индукция

$$B_m = \Phi_m / s.$$

Отличительной особенностью распределения переменного магнитного поля в ферромагнитных образцах является неравномерность магнитной индукции по сечению. Поэтому простое использование приве-

денной выше формулы дает только среднее значение индукции по сечению.

1.6.3.5. Измерение напряженности магнитного поля

Методы основаны на применении калиброванной катушки.

Баллистический метод. К числу наиболее распространенных методов измерения напряженности магнитного поля следует отнести рассмотренный выше баллистический метод с использованием калиброванной измерительной катушки. Калибровка измерительной катушки заключается в определении для нее величины произведения средней площади витков на число витков, т.е. величины $k_{sw}=s_{и}\omega_{и}$. Эта операция производится экспериментально. Измерительную катушку помещают в однородное магнитное поле известной величины. Выводы измерительной обмотки подключают к зажимам баллистического гальванометра, у которого известна величина $C_{м}$. Выключение поля или удаление из него измерительной катушки вызовет отброс подвижной части гальванометра на величину согласно формуле $\Delta\Phi = \frac{C_{\mu}}{\omega_{и}}\alpha_{и}$, равную

$$\alpha_m = \frac{Bs_{и}\omega_{и}}{C_{\mu}},$$

откуда

$$s_{и}\omega_{и} = \frac{\alpha_m C_{\mu}}{B}.$$

На основании формулы $\Delta\Phi = \frac{C_{\mu}}{\omega_{и}}\alpha_{и}$ изменение показания гальванометра (при повороте измерительной катушки на угол 90° или удалении ее из поля) составит:

$$\Delta\Phi = \frac{C_{\mu}}{\omega_{и}}\alpha_m = H\mu_0 s,$$

откуда

$$H = \frac{C_{\mu}\alpha_m}{\omega_{и}s_{и}\mu_0}.$$

Индукционный метод. Измерение напряженности магнитного поля может быть произведено также, если измерительную катушку, помещенную в исследуемое магнитное поле, вращать с постоянной скоростью.

Действующее значение ЭДС измерительной катушки равно

$$E = 4{,}44 f \omega_{и} s_{и} \mu_0 H ,$$

отсюда

$$H = \frac{E}{4{,}44 f \omega_{и} s_{и} \mu_0} .$$

Методы, основанные на применении ферромагнитных зондов. Ферромагнитные зонды используются для измерения слабых магнитных полей (от 10^{-5} до 100 а/м). Работа их основана на использовании нелинейного характера намагничивания ферроматериалов.

Наибольшее распространение получили феррозонды с удвоением частоты. При наличии постоянного измеряемого поля с напряженностью H_0 связь между напряженностью и магнитной индукцией сердечников будет выражаться в смещении основной кривой намагничивания. По величине четных гармоник на выходе сигнальной обмотки можно судить о величине напряженности постоянного магнитного поля.

Высокая чувствительность (10^{-5} а/м), непрерывные измерения напряженности в широком диапазоне, высокая точность (порядка 1 %) делают приборы с феррозондами весьма удобными при многих измерениях в магнитных полях.

1.7. Измерение оптических величин

Измерение световых величин – фотометрия в узком смысле этого слова – остаётся важнейшей частью измерений оптического излучения.

Фотометрия, опирающаяся на глаз, называется визуальной или субъективной; фотометрия, использующая физические приемники, – объективной.

Глаз хорошо оценивает равенство яркостей, но не их отношение. Это равенство устанавливается с хорошей точностью при условии, что сравниваемые поверхности непосредственно соприкасаются друг с другом. Таким образом, всякий визуальный фотометр должен состоять из двух основных элементов: устройства для создания соприкасающихся полей сравнения, яркость которых пропорциональна сравниваемым световым величинам, и устройства, позволяющего изменять сравниваемые величины в известном отношении для их уравнивания (например, путем изменения расстояния от источника до поверхности). Второе необходимо и при работе с физическими приемниками, если они используются как нуль-индикаторы.

Классическим примером устройства для создания полей сравнения является кубик Люммера-Бродхуна. Половина его представляет собой обычную призму полного внутреннего отражения. Вторая половина – такая же призма, у которой часть отражающей грани снята (например, сделана сферической), так что только центральный участок этой грани остаётся плоским. Этим участком вторая призма либо приклеивается к первой, либо (чаще) прижимается до достижения так называемого оптического контакта, когда (при достаточно хорошей полировке поверхности) вступают в действие силы молекулярного сцепления. В этом месте стекло может рассматриваться как целое, поэтому свет беспрепятственно проходит через обе призмы. В остальных местах к глазу попадает свет, претерпевший полное внутреннее отражение в первой призме. Поверхность полей сравнения рассматривается обычно через окуляр или через лупу. Другие устройства для создания полей сравнения работают аналогичным образом.

1.7.1. Измерение силы света и освещенности

Измерение силы света – один из основных видов измерений. Рассмотрим как визуальный, так и объективный методы измерений.

На рис. 1.39 представлена схема визуальных измерений силы света. Для измерений используется *фотометрическая скамья* – устройство, на котором устанавливаются и при необходимости перемещаются вдоль оси сравниваемые лампы, фотометрическая головка и другие приспособления.

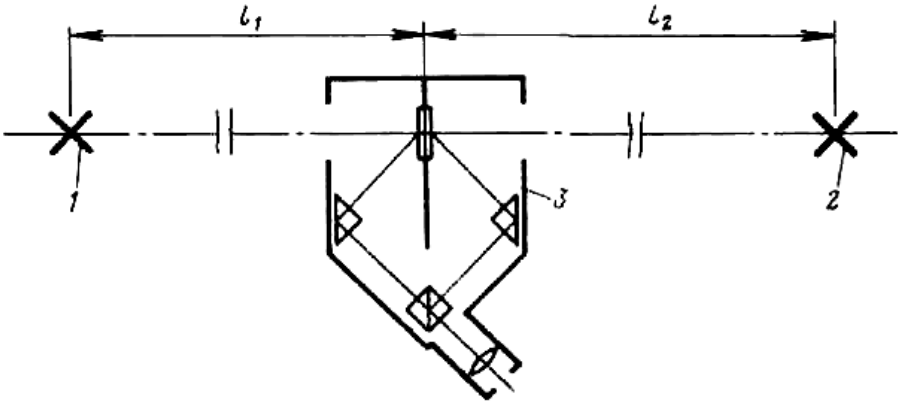


Рис. 1.39.Фотометрическая скамья:
1, 2 – сравниваемые лампы; 3 – фотометрическая головка

В фотометрической головке помещаются *испытательные пластинки*, которые освещаются сравниваемыми лампами – исследуемой и образцовой (или лампы сравнения). Это белые пластинки, диффузно рассеивающие свет, часть которого с помощью зеркал или призм

полного внутреннего отражения направляется на кубик Люммера-Бродхуна (или другое устройство для создания полей сравнения). При измерениях одна из ламп или головка, или головка вместе с лампой (существуют разные методы) перемещается вдоль оси до тех пор, пока яркость полей сравнения не выравнивается.

Равенство яркостей при одинаковых пластинках означает равенство их освещенностей:

$$E_1 = \frac{I_1}{l_1^2} = E_2 = \frac{I_2}{l_2^2},$$

откуда

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{l_1^2}{l_2^2},$$

и если сила света одной из ламп известна, легко находится сила света второй.

Поскольку испытательные пластинки или другие детали схемы могут быть не вполне одинаковы (например, из-за загрязнений), более точным является *способ замещения*.

При этом способе исследуемая и образцовая лампы устанавливаются поочередно с одной стороны головки, а с другой находится лампа сравнения. Если, например, расстояние от лампы сравнения до испытательной пластинки l_2 неизменно, а изменяется только расстояние l_1 (головка перемещается вместе со связанной с ней лампой сравнения), то отношение сил света исследуемой и образцовой ламп равно отношению квадратов полученных с ним значений l_1:

$$\frac{I_x}{I_0} = \frac{(l_1)_x^2}{(l_1)_0^2}.$$

Здесь индексом x обозначена исследуемая лампа; индексом 0 –образцовая.

Для объективных измерений силы света можно применять вертикальный селеновый фотоэлемент с корригирующим фильтром или другой приемник со спектральной характеристикой, приведенной к кривой относительной спектральной световой эффективности.

Простейший способ заключается в сравнении фототоков, полученных от образцовой и исследуемой ламп при одном расстоянии их от фотоэлемента. Очевидно, что силы света пропорциональны полученным фототокам. Фотоэлемент с известной чувствительностью по

освещенности используется и для измерения освещенности, т.е. в качестве люксметра.

1.7.2. Измерение светового потока

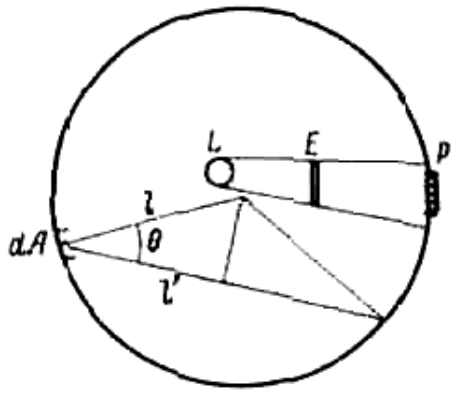


Рис. 1.40. Шар Ульбрихта:
L – источник; *E* – экран;
P – прибор, измеряющий освещенность

Если известно распределение силы света источника в пространстве (фотометрическое тело), его полный световой поток может быть определен путем численного или графического интегрирования. Этот способ наиболее точен. Однако достаточно подробное измерение распределения с последующим расчетом – задача весьма трудоемкая. Поэтому в большинстве случаев более удобным оказывается измерение светового потока с помощью фотометрического шара – *шара Ульбрихта* (Ulbriht) (рис. 1.40).

Измеряемый источник помещается внутрь шара, имеющего диффузно отражающую внутреннюю поверхность. Рассмотрим освещенность этой поверхности. Непосредственно от источника идущие излучения создают освещенность E_0, которая непостоянна вдоль поверхности – она зависит от силы света источника в данном направлении и от его положения (источник не обязательно находится в центре). Отразившийся от поверхности свет создает освещенность E_1. Освещенность, создаваемая элементом поверхности dA в точке B, равна

$$dE_1 = \frac{L_1 dA \cos^2 \theta}{(2l')^2} = \frac{L_1 dA}{4l^2}.$$

Если поверхность отражает по закону Ламберта, то

$$L_1 = \frac{\rho E_0}{\pi}$$

и

$$dE_1 = \frac{\rho E_0}{\pi} \frac{dA}{4l^2}.$$

Интегрируя по поверхности шара А, получаем:

$$E_1 = \int_A dE_1 = \frac{\rho}{4\pi l^2} \int_A E_0 dA = \frac{\rho \Phi}{4\pi l^2}.$$

Свет, упавший на поверхность после первого отражения, снова отражается. Повторив для второго отражения те же рассуждения, получим:

$$E_2 = \frac{\rho^2 \Phi}{4\pi l^2}.$$

Аналогичным образом определяется освещенность для всех последующих отражений. Таким образом, полная освещенность внутренней поверхности шара

$$E = E_0 + E_1 + E_2 + \ldots =$$

$$= E_0 + \frac{\Phi}{4\pi l^2}(\rho + \rho^2 + \rho^3 + \ldots) = E_0 + \frac{\Phi}{4\pi l^2}\frac{\rho}{1-\rho}.$$

Из этого следует, освещенность, создаваемая многократными отражениями, равномерно распределяется по поверхности и прямо пропорциональна полному потоку источника. Поэтому, если какую-либо точку шара защитить от прямого света источника, как это показано, то освещенность такой точки будет прямо пропорциональна потоку источника. Отсюда вытекает метод измерения полного потока: исследуемый и образцовый источники поочередно помещают в шар и отношение их потоков определяют по отношению освещенностей. Отношение освещенностей обычно определяется с помощью молочного стекла, вставленного в окно вровень с внутренней поверхностью шара. Яркость стекла с наружной стороны можно измерять как визуальным, так и объективным методами.

Для некоторых источников связь между силой света в определенном направлении и полным потоком заранее известна. Примерами такого рода могут служить простейшие источники, изучаемые по закону Ламберта. Для таких источников достаточно измерить нормальную силу света I_0, чтобы, умножив её на соответствующий коэффициент, найти полный поток.

На практике, однако, дело обстоит сложнее. Поскольку для всех излучателей, кроме чёрного тела, закон Ламберта выполняется лишь приближённо, значения фактических коэффициентов несколько отличаются от теоретических, но пользоваться определением светового потока по измеренной силе света в ряде случаев всё-таки можно. Это допустимо тогда, когда связывающий эти величины коэффициент хотя и отличается от теоретического, но может считаться одинаковым для всех источников данного типа. Наиболее распространенным примером

являются люминесцентные лампы. Их световой поток можно определить по формуле

$$\Phi = 9{,}25 I_0 ,$$

где коэффициент 9,25 (вместо теоретического π^2=9,87) найден посредством измерения фотометрического тела.

1.7.3. Измерение яркости

Непосредственное измерение яркости путем сравнения исследуемой яркости с известной встречается на практике редко (примером может служить оптическая пирометрия). Остальные случаи можно разбить на две группы.

К первой относятся задачи, когда нужно определить яркость заданной точки источника, или, точнее, среднюю яркость площадки на поверхности источника, достаточно малой, чтобы яркость в её пределах менялась незначительно. Будем в таких случаях говорить о локальной яркости.

Ко второй группе задач относится измерение яркости, которая постоянна вдоль поверхности источника, а также измерение среднего в пределах поверхности источника значения яркости (иногда говорят о габаритной яркости).

Выделить для измерения локальной яркости достаточно малую площадку непосредственно на поверхности источника обычно невозможно. Поэтому в таких случаях создают с помощью объектива изображения на экране. В экране делается отверстие, за которым устанавливается приемник – фотоэлемент или фотоумножитель. При необходимости за отверстием можно установить матовое стекло или линзу для более равномерного распределения излучения по поверхности фотокатода. Освещенность изображения пропорциональна яркости источника, а поток, проходящий через отверстие, пропорционален освещенности. Поэтому прибор будет давать показания, пропорциональные яркости.

Такие приборы обычно выгодно конструировать так, чтобы увеличение было больше единицы. Тогда облегчается получение среднего значения яркости для достаточно малой поверхности источника. Требования к объективу зависят от необходимой светосилы прибора: если света много, то достаточно малого относительного отверстия, при котором простая положительная линза даёт удовлетворительное изображение.

Градуировка прибора может быть осуществлена одним из двух способов: либо по источнику с известной яркостью, либо по известной освещенности экрана.

В первом случае непосредственно определяется чувствительность (или цена деления) прибора:

$$S_L = i_0 / L_0,$$

где i_0 – фотопоток, полученный при измерении источника с известной яркостью L_0.

Однако образцовых источников для измерения яркости мало и они не всегда удобны. Градуировка по освещенности осуществляется следующим образом. На экране с отверстием создают определенную освещенность, применяя измерительную лампу с известной силой света. Чувствительность прибора по освещенности

$$S_E = \frac{i_0}{E_0} = \frac{i_0 l_0^2}{I_0},$$

где i_0 – фотопоток, полученный при измерении со светоизмерительной лампой;

I_0 – сила света;

l_0 – расстояние от лампы до экрана.

Эта чувствительность пересчитывается на чувствительность по яркости – определяется значение яркости источника, который бы создал освещенность E_0, если бы находился в плоскости, сопряженной с экраном. Из формулы $E = KLBQ / a'^2$ получим

$$E_0 = \frac{L_0 \tau Q}{l^2},$$

где Q – выходной зрачок объектива;

l – расстояние от объектива до экрана;

τ – коэффициент пропускания объектива.

Отсюда соответствующая яркость

$$L_0 = \frac{E_0 l^2}{Q\tau}$$

и

$$S_L = i_0 / L_0 = i_0 \tau Q / E_0 l^2,$$

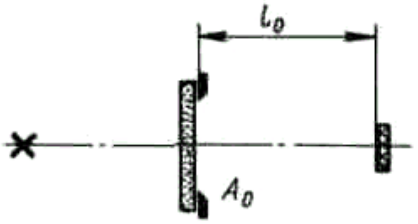
или

$$S_L = i_0 \tau l_0^2 Q / I_0 l^2.$$

Для простой тонкой линзы можно считать, что ее пропускание определяется только потерями на отражение. Если она выполнена из

стекла, то τ можно принять 0,92±0,01. В более сложных случаях желательно измерять пропускание объектива.

а



б

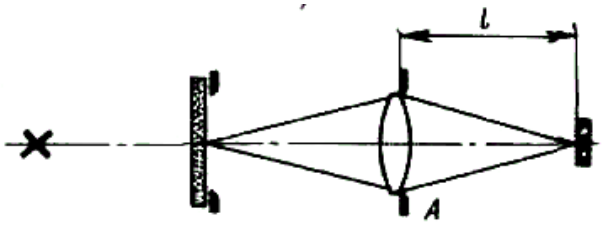


Рис. 1.41. Определение коэффициента пропускания объектива:
а – измерение освещенности E_o; б – измерение освещенности E

Измерение постоянной по поверхности источника яркости осуществляется проще. Достаточно измерить силу света такого источника в заданном направлении и разделить ее на площадь проекции источника на плоскость, перпендикулярную этому направлению. Очевидно, что этот подход применим и к тем случаям, когда необходимо измерить среднюю или габаритную яркость источника. Таким образом, в задачах этой группы вопрос сводится к правильному измерению силы света.

Источник с равномерной по поверхности яркостью может быть использован для измерения пропускания объектива. В качестве такого источника может быть использовано молочное стекло, освещенное с противоположной измерению стороны и ограниченное непрозрачной диафрагмой. Измеряется освещенность, создаваемая таким стеклом на расстоянии l_0:

$$E_0 = LA_0 / l_0^2, \qquad (1.1)$$

где L – яркость стекла;

A_0 – площадь ограничивающей диафрагмы.

Затем устанавливают исследуемый объектив так, чтобы он создавал изображение поверхности стекла, и измеряют освещенность в плоскости изображения:

$$E = L\tau A / l^2, \qquad (1.2)$$

где A – площадь выходного зрачка;

l – расстояние до объектива.

Решая совместно выражения (1.1) и (1.2), определяем:

$$\tau = EA_0 l^2 \,/\, E_0 A l_0^2 .$$

Для большей точности желательно, чтобы значения A и A_0 и l и l_0 не намного отличались друг от друга.

Если трудно определить положение и размеры выходного зрачка, вместо этого можно измерить сечение светового пучка вблизи объектива и расстояние от сечения до плоскости изображения (но телесный угол будет измерен правильно, если только сечение пучка взято близко к объективу).

2. МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

2.1. Классификация видов и методов неразрушающего контроля

Неразрушающий контроль, в зависимости от физических явлений, положенных в его основу, подразделяется на виды:

– магнитный;
– электрический;
– вихретоковый;
– радиоволновой;
– тепловой;
– оптический;
– радиационный;
– акустический;
– проникающими веществами.

Методы каждого вида неразрушающего контроля классифицируются по следующим признакам:

а) характеру взаимодействия физических полей или веществ с контролируемым объектом;

б) первичным информативным параметрам;

в) способам получения первичной информации.

Классификация методов неразрушающего контроля приведена в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Вид контроля	Классификация методов неразрушающего контроля		
	По характеру взаимодействия физических полей с контролируемым объектом	По первичному информативному параметру	По способу получения первичной информации
1	2	3	4
Магнитный	Магнитный	Коэрцитивной силы Намагниченности Остаточной Индукции Магнитной Проницаемости Напряженности Эффекта Баркгаузена	Магнитопорошковый Индукционный Феррозондовый Эффекта Холла Магнитографический Пондеромоторный Магниторезисторный
Электрический	Электрический Трибоэлектрический Термоэлектрический	Электропотенциальный Электроемкостный	Электростатический Порошковый Электропараметрический Электроискровой Рекомбинационного Излучения Экзоэлектронной Эмиссии Шумовой Контактной разности потенциалов

Окончание табл. 2.1

1	2	3	4
Вихре-токовый	Прошедшего излучения Отраженного излучения	Амплитудный Фазовый Частотный Спектральный Многочастотный	Трансформаторный Параметрический
Радио-волновой	Прошедшего излучения Отраженного излучения Рассеянного излучения Резонансный	Амплитудный Фазовый Частотный Временной Поляризационный Геометрический	Детекторный (диодный) Болометрический Термисторный Интерференционный Голографический Жидких кристаллов Термобумаг Термолюминофоров Термолюминофоров Фотоуправляемых Полупроводниковых пластин Калориметрический
Тепловой	Тепловой контактный Конвективный Собственного излучения	Термометрический Теплометрический	Пирометрический Жидких кристаллов Термокрасок Термобумаг Термолюминофоров Термозависимых Параметров Оптический интерференционный Калориметрический
Опти-ческий	Прошедшего излучения Отраженного излучения Рассеянного излучения Индуцированного излучения	Амплитудный Фазовый Временной Частотный Поляризационный Геометрический Спектральный	Интерференционный Нефелометрический Голографический Рефрактометрический Рефлексометрический Визуально-оптический
Радиа-ционный	Прошедшего излучения Рассеянного излучения Активационного Анализа Характеристического Излучения Автоэмиссионный	Плотности потока Энергии Спектральный	Сцинтилляционный Ионизационный Вторичных электронов Радиографический Радиоскопический
Акусти-ческий	Прошедшего излучения Отраженного излучения (эхо-метод) Резонансный Импедансный Свободных колебаний Акустико-эмиссионный	Амплитудный Фазовый Временной Частотный Спектральный	Пьезоэлектрический Электромагнитно- акустический Микрофонный Порошковый

2.2. Метод контроля напряженно-деформированного состояния материала конструкций. Порядок выбора

Известно, что контроль остаточных технологических напряжений при изготовлении изделий машиностроения отличается от контроля напряжений в работающих конструкциях, особенно при оценке их ресурса.

В зависимости от решаемых задач при контроле механических напряжений используют их условную классификацию: остаточные технологические нагрузочные напряжения, эксплуатационные остаточные напряжения, рабочие напряжения, фактические напряжения (ГОСТ Р 52330–2005 «Контроль неразрушающий. Контроль напряженно-деформированного состояния объектов промышленности и транспорта. Общие требования»). Методы контроля напряжений различают по виду физического поля, используемого средствами контроля, и измеряемыми параметрами этого поля.

Большинство методов контроля напряженно-деформированного состояния (НДС) оборудования и конструкций основаны на тарировке образцов при растяжении. В то же время известно, что такая тарировка не соответствует НДС реального оборудования. Создание единых эталонных образцов для сравнения различных методов неразрушающего контроля (НК) напряжений с учетом масштабного фактора, характера рабочих нагрузок и локальности зон максимальных напряжений не представляется возможным.

Поэтому необходимо определить общие требования к порядку выбора методов неразрушающего контроля напряжений в зависимости от задач исследования для изделий машиностроения, трубопроводов, сосудов и конструкций различного назначения и их элементов, в том числе сварных соединений любого конструктивного исполнения, изготовленных из стали и сплавов, чугуна и других конструкционных материалов без ограничения размеров и толщин.

При выборе методов неразрушающего контроля напряжений элементов узлов, деталей или агрегатов объектов промышленной опасности (далее – ЭОПО) (трубопроводов; сосудов, работающих под давлением; ответственных силовых конструкций и т.д.) должны соблюдаться определенные требования.

Методы неразрушающего контроля (далее – НК) напряжений и используемые ими параметры должны быть максимально чувствительны к интегральной оценке напряженно-деформированного состояния (далее – НДС) материала ЭОПО с учетом его структурной неоднородности. Основанием для выбора методов НК напряжений должны

быть результаты анализа проведенных предприятием-изготовителем ЭОПО экспериментальных исследований, либо результаты анализа практического применения выбранных методов для аналогичных объектов. Предприятие-изготовитель ЭОПО, эксплуатирующее предприятие, а также предприятие, осуществляющее НК ЭОПО, должны иметь нормативные и технические документы на выбранный метод НК напряжений и располагать специалистами, обладающими надлежащей квалификацией.

При выборе метода НК напряжений в материале данного ЭОПО в проектной и эксплуатационной документации учитывают в первую очередь задачи исследования (контроль остаточных напряжений после изготовления, оценка НДС в процессе эксплуатации и другие задачи).

При выборе метода НК напряжений учитывают следующие основные признаки:

– способ получения первичной информации и алгоритм связи измеряемого параметра физического поля с заявленным параметром напряжений;

– способ тарировки метода (тарировка на образцах, функционально-теоретическая, эмпирическая) и диапазон контролируемых напряжений;

– локальность контроля;

– скорость контроля;

– требования к ОК, обеспечивающие гарантированную методом достоверность измеряемого параметра напряженно-деформированного состояния материала;

– достоверность используемой связи измеряемого параметра физического поля с заявленным параметром напряжений;

– единицы и диапазон измерений;

– особенности и последовательность операций при проведении и обработке результатов измерений.

2.3. Акустический метод

2.3.1. Акустический метод оценки физико-механических характеристик материала элементов технических систем

Необходимость акустического контроля в зависимости от условий технологии изготовления устанавливают в стандартах или технических условиях на объект контроля. Основанием для применения предприятием акустических методов контроля объектов является наличие данных, подтверждающих требуемую достоверность и надежность выбранных методов. Эти данные могут быть получены в результате

предварительных экспериментальных исследований, проведенных предприятием или в результате практического применения выбранных акустических методов на другом предприятии для контроля качества аналогичных объектов.

При этом на предприятии должны быть техническая документация на контроль и дефектоскописты, обладающие надлежащей квалификацией по выбранным акустическим методам контроля.

Акустические методы контроля основаны на чувствительности параметров упругих волн, распространяющихся в материале элемента технической системы (изделия (машины) и их составных частей), к структурно-механическому состоянию материала. В качестве акустических параметров используются скорости звука, коэффициенты затухания и связанные с ними параметры упругих волн различных типов.

Процедуру оценки физико-механических характеристик материала элемента технической системы проводят в следующем порядке:

– выбор акустических параметров, чувствительных к изменению физико-механических характеристик материала контролируемых элементов технической системы;

– установление регрессионных связей акустических параметров материала с его физико-механическими характеристиками в ходе обучающих экспериментов;

– оценка физико-механических характеристик материала контролируемого элемента технической системы.

Система акустического контроля представляет собой совокупность объекта контроля, средств контроля, нормативно-технологической документации и человека-оператора.

Средства контроля формируют на базе аппаратного и программного (при необходимости) обеспечения и методического обеспечения.

В качестве аппаратного обеспечения средств контроля могут быть использованы установки, собранные из серийной аппаратуры и оригинальных блоков, поверяемые в установленном порядке в соответствии со схемами, приведенными ниже и в зависимости от типа используемых упругих волн, и обеспечивающие:

– получение акустических параметров, непосредственно используемых для оценки физико-механических характеристик материала объекта контроля;

– получение акустической информации, используемой в качестве исходной для ее последующей обработки средствами программного обеспечения.

Обязательными компонентами аппаратного обеспечения средств контроля являются электроакустические преобразователи и стандартные образцы. Как правило, используют пьезопреобразователи.

Способ ввода ультразвука в контролируемый материал (контактный, щелевой, бесконтактный, иммерсионный) определяют исходя из особенностей геометрии объекта контроля и требований, предъявляемых к технологии контроля. При контактном способе ввода ультразвука в качестве контактной смазки рекомендуется использовать хорошо смачивающую контактные поверхности жидкость, не вызывающую коррозию исследуемого материала.

Для подготовки аппаратного обеспечения средств измерений к измерениям применяют стандартные образцы. Допускается использовать в качестве стандартных образцов вырезки из исследуемых элементов исследуемого материала. Измерения на стандартных образцах проводят при условиях, совпадающих с условиями измерений на объекте контроля. Допускается при наличии соответствующих корреляционных зависимостей проводить измерения в нормальных климатических условиях:

– температуре окружающей среды, °С ..... 20 +/- 2;
– относительной влажности воздуха, % ..... 30 – 80;
– атмосферном давлении, кПа (мм рт. ст.) ..... 84 – 106 (630 – 795);
– напряжении сети, В ..... 220 +/- 22;
– частоте сетевого напряжения, Гц .....50 +/- 0,5 с содержанием гармоник до 5 %.

При использовании программного обеспечения средств контроля в программных средствах должны быть:

– предусмотрены подпрограммы, поддерживающие режим самодиагностики системы;

– предусмотрена возможность оперативного пополнения банка данных системы путем внесения в него информации, полученной в ходе обучающих экспериментов и в результате очередного обследования объекта контроля;

– алгоритмическая часть программного обеспечения должна обеспечивать вычисление акустических параметров с допустимой погрешностью;

– программные средства должны учитывать условия проведения акустических измерений на объекте контроля, в частности, температурный режим;

– первичная акустическая информация для каждой зоны контроля должна постоянно храниться на внешних носителях, защищенных от несанкционированного доступа.

Методическое обеспечение средств контроля должно содержать документы, устанавливающие:

– назначение и область применения средств контроля;

– состав и основные характеристики средств аппаратного и программного обеспечения, включающие в себя нормы погрешности измерения акустического параметра контроля;

– методы и средства достижения совместимости средств контроля, в том числе информационной, электрической, энергетической, программной, конструкторской, эксплуатационной;

– правила агрегатирования средств аппаратного и программного обеспечения и организации их взаимодействия.

Описание функциональных возможностей средств контроля в эксплуатационных, конструкторских и программных документах объекта контроля и средств контроля должно содержать характеристики аппаратного и программного обеспечения.

Подготовка к контролю состоит из следующих основных этапов:

– анализа технической документации на объект и составления карты обследования;

– проведения комплекса обучающих экспериментов;

– подготовки объекта к акустическим измерениям.

На основании технической документации на объект проводят анализ:

– материалов, из которых изготовлены элементы объекта (физико-механические характеристики, режимы термической обработки);

– видов соединений;

– мест конструктивных переходов;

– видов напряженного состояния элементов конструкций;

– условий эксплуатации.

При анализе отказов элементов конструкций фиксируют:

– причины отказов;

– места отказов;

– возможность изменения структуры и физико-механических характеристик материала в зоне отказа.

Исходя из измеряемой физико-механической характеристики, выбирают наиболее информативный акустический параметр.

На основании анализа составляют карту акустического контроля объекта.

Комплекс обучающих экспериментов проводят, исходя из условий эксплуатации объекта и характера определяемых физико-механических характеристик, при этом выбирают диапазон изменения внешних воздействий (температуры, нагрузки, деформации и др.).

Составляют план эксперимента таким образом, чтобы по каждому параметру внешних воздействий было реализовано не менее пяти состояний материала.

Например, при контроле пластических деформаций путем активного деформирования стандартных образцов реализуют пять значений остаточной деформации; при оценке размеров зерен путем соответствующей термообработки формируют структуры с пятью различными значениями средних размеров зерен и т.д. При выборе состояний материала следует учитывать, что наиболее вероятное состояние материала объекта контроля должно находиться в середине выборки.

С учетом структурных особенностей материала объекта контроля выбирают типы используемых преобразователей и их частоты.

Тип используемых упругих волн зависит от характера решаемой инженерной задачи. Частоты используемых преобразователей зависят от размеров зерен материала объекта контроля и вида используемого акустического параметра:

При использовании в качестве акустического параметра скорости звука и связанных с ней параметров рекомендуется при выборе частоты преобразователя обеспечить следующее соотношение между длиной излучаемой волны λ и средним размером зерен материала $\bar{D}$: $\lambda \geq 10\bar{D}$. При использовании в качестве акустического параметра коэффициента затухания и связанных с ним параметров рекомендуется обеспечить следующее соотношение между длиной излучаемой волны и средним характерным размером зерен материала $\bar{D}$: $4\bar{D} < \lambda \geq 10\bar{D}$.

Исходя из особенностей геометрии и условий эксплуатации объекта контроля компонуют установку для определения выбранных акустических характеристик. В каждом из состояний проводят необходимые акустические измерения с регистрацией выбранных акустических параметров. Устанавливают вид регрессионной связи выбранного акустического параметра с исследуемой физико-механической характеристикой материала объекта контроля и вносят полученные коэффициенты связи в банк данных системы акустического контроля.

При подготовке объекта к акустическим измерениям зоны контроля должны быть пронумерованы. Измеряют и вносят в карту акустического контроля температуру объекта контроля в зонах контроля, а также действующее давление.

В соответствии с картой обследования в выбранных зонах проводят комплекс акустических измерений и записывают их результаты. Рассчитывают акустический параметр. Измерения повторяют 3–5 раз.

По усредненному акустическому параметру определяют необходимую физико-механическую характеристику материала.

Результаты контроля фиксируют в журнале, форма которого приведена в табл.2.2.

Таблица 2.2

ФОРМА ЖУРНАЛА
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛА ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ
СИСТЕМ АКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Наименование технической системы	Номер (или код) контролируемого участка	Марка материала	Рабочая температура	Тип используемой аппаратуры	Значения определенных физико-механических характеристик и их погрешности	Дата контроля	Фамилия оператора	Примечание

2.3.2. Акустический звуковой метод определения открытой пористости, кажущейся плотности, плотности и предела прочности при сжатии огнеупорных изделий

Сущность акустического звукового метода определения открытой пористости, кажущейся плотности, плотности и предела прочности при сжатии огнеупорных изделий состоит в использовании статистической связи резонансных частот основного тона изгибных или продольных вынужденных механических колебаний огнеупорных изделий с их открытой пористостью, кажущейся плотностью, плотностью и пределом прочности при сжатии определяемых с помощью уравнений регрессии или номограмм, построенных на их основе.

Статистическая связь устанавливается для изделий одной марки, одного типоразмера и одинакового способа изготовления.

При данном методе исследования применяется аппаратура:

– весы лабораторные общего назначения 4-го класса точности по ГОСТ 24104-80 или весы для статического взвешивания среднего 3-го класса точности по ГОСТ 23676-79. Допускается использовать другие весы, обеспечивающие требуемую точность измерения;

– генератор низкочастотный измерительный, генерирующий немодулированные синусоидальные сигналы с нижней границей измеряемых частот не более 0,2 кГц и верхней границей не менее 20,0 кГц с выходным напряжением не менее 30 В;

– частотомер электронносчетный с нижней границей измеряемых частот не более 0,01 кГц и верхней границей не менее 100,0 кГц;

– осциллограф электронно-лучевой с минимальным коэффициентом отклонения не более 2 мВ/см, имеющий вход на усилитель горизонтального отклонения или горизонтальные пластины (используется как индикатор);

– приемоизлучающие системы (рис. 2.1, 2.2) с излучающими и приемными преобразователями, способные возбуждать и регистрировать в контролируемых изделиях механические колебания с нижней границей измеряемых частот не более 0,2 кГц и верхней границей не менее 20,0 кГц.

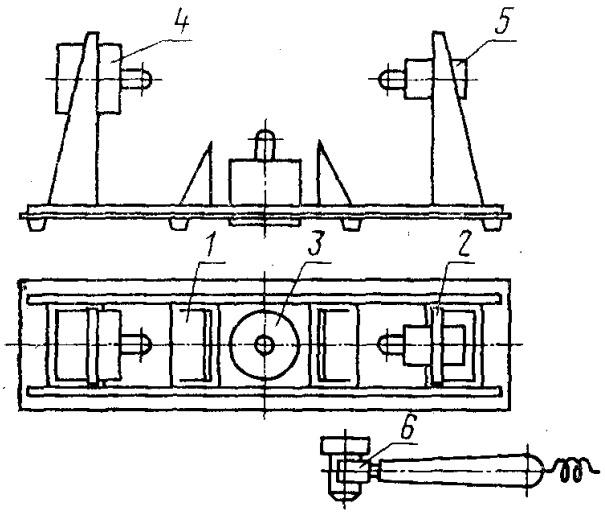


Рис. 2.1. Приемоизлучающая система для изделий нормальных размеров, фасонных простой и сложной конфигурации:
1 – раздвижные опоры;
2 – передвижные кронштейны;
3 – излучающий преобразователь для возбуждения в изделиях изгибных колебаний; 4 – излучающий преобразователь для возбуждения в изделиях продольных колебаний;
5 – приемный преобразователь продольных колебаний;
6 – переносный приемный преобразователь

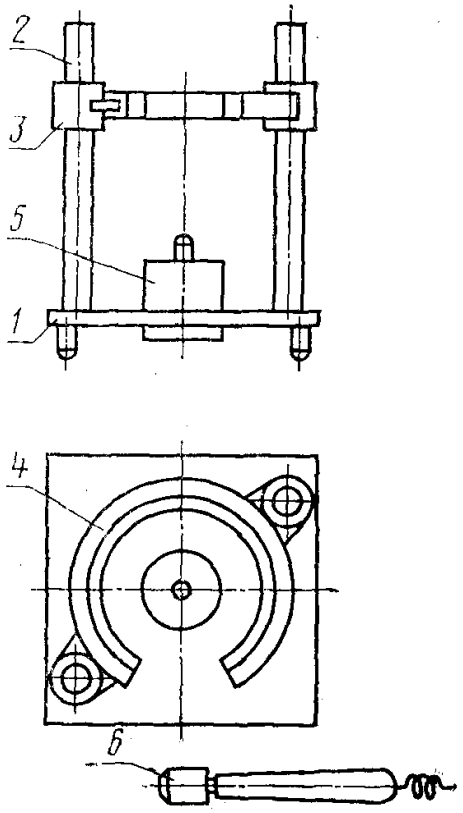


Рис. 2.2. Приемоизлучающая система для сталеразливочных пробок:
1 – основание; 2 – колонна;
3 – обойма; 4 – кольцевая опора;
5 – излучающий преобразователь;
6 – приемный преобразователь

Блок-схема соединения радиотехнических приборов для определения резонансной частоты изгибных или продольных колебаний изделия приведена на рис. 2.3.

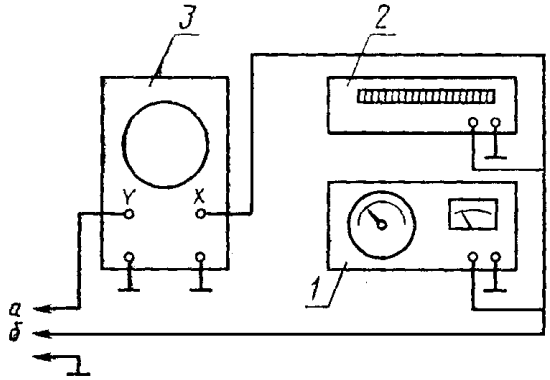


Рис. 2.3. Блок-схема соединения радиотехнических приборов для определения резонансной частоты изгибных или продольных колебаний изделия:
1 – генератор низкочастотный измерительный;
2 – частотомер электронно-счетный; 3 – осциллограф электронно-лучевой;
а – к приемному преобразователю; б – к излучающему преобразователю

Допускается использовать другие аттестованные приборы, предназначенные для определения резонансной частоты изделия методом вынужденных колебаний с параметрами, удовлетворяющими указанным выше требованиям.

Для расчета уравнений регрессии и построения номограмм в процессе приемочного контроля, проводимого разрушающими методами, отбирается не менее 50 изделий, причем от каждой партии – не более 5 изделий.

Количество изделий, отбираемых для контроля продукции, предусматривается нормативно-технической документацией на огнеупорные изделия.

Для определения резонансной частоты основного тона изгибных колебаний изделий раздвигают или снимают с приемоизлучающей системы преобразователи, предназначенные для возбуждения и регистрации в изделиях продольных колебаний. Раздвигают опоры приемоизлучающей системы на расстояние, равное половине длины (наибольшего линейного размера) испытуемого изделия. Допускаемое отклонение при установке расстояния между опорами не должно превышать +/-10 %. Устанавливают изделие на опоры приемоизлучающей системы, подводят переносный приемный преобразователь к верхней плоскости изделия в точке, удаленной от торца на (10+/-1) мм. Перестраивают частоту генератора до появления на экране осциллографа

фигуры Лиссажу в виде круга (эллипса), которая свидетельствует о совпадении частоты генератора с частотой собственных колебаний изделия.

Переставляют приемный преобразователь вдоль верхней поверхности изделия по его длине, одновременно наблюдая на экране осциллографа за изменением амплитуды и фазы колебаний. На резонансной частоте основного тона изгибных колебаний амплитуда колебаний максимальна в центре и на концах изделия, а в узловых линиях имеет минимальное значение. При переносе датчика-приемника через узловые линии фаза колебаний должна меняться на 180° (рис. 2.4).

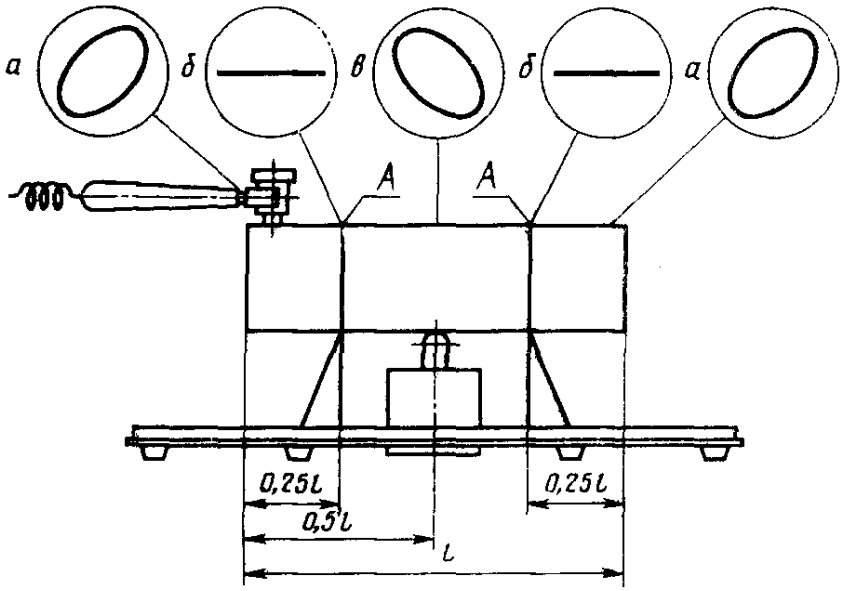


Рис. 2.4. Изменение фазы колебаний при движении приемного преобразователя вдоль верхней поверхности изделия по его длине:
а, в – максимальные значения амплитуды колебаний изделия;
б – минимальные значения амплитуды колебаний изделия;
А – узловая линия

При определении резонансной частоты основного тона продольных колебаний изделий снимают с приемоизлучающей системы излучающий преобразователь, предназначенный для возбуждения в изделиях изгибных колебаний, устанавливают изделие на опоры приемоизлучающей системы, предварительно сдвинутые вплотную друг к другу своими основаниями (рис. 2.5).

Излучающий и приемный преобразователи, находящиеся на кронштейнах, вплотную придвигают к торцам изделия, определяют резонансную частоту изделия. Заменяют стационарный приемный преобразователь переносным приемным преобразователем (рис 2.1), переставляют переносный преобразователь вдоль верхней поверхности изделия по его длине, одновременно наблюдая на экране осциллографа

за изменением амплитуды и фазы колебаний. На резонансной частоте основного тона продольных колебаний амплитуда колебаний максимальна на концах изделия и минимальна в средней части. При переносе приемного преобразователя через узловую линию фаза колебаний должна меняться на 180° (рис. 2.5).

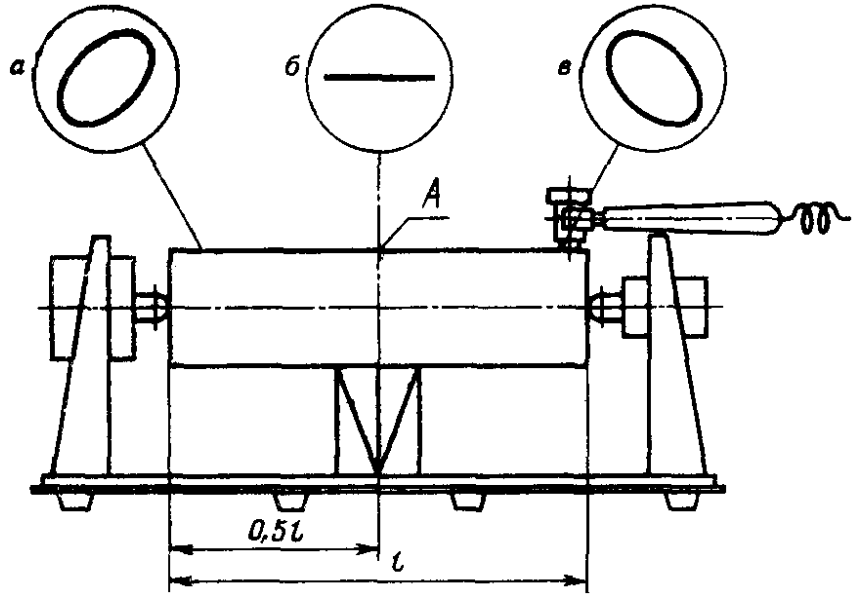


Рис. 2.5. Схема установки изделия на опоры приемоизлучающей системы при определении резонансной частоты:
а, в – максимальные значения амплитуды колебаний изделия;
б – минимальные значения амплитуды колебаний изделия;
А – узловая линия

Определяют диапазон изменений массы и резонансной частоты изделий, устанавливая их минимальное и максимальное значения.

На изделиях с измеренными значениями массы и резонансной частоты определяют открытую пористость и кажущуюся плотность по ГОСТ 2409, плотность по ГОСТ 2211, предел прочности при сжатии по ГОСТ 4071. Определения проводят не менее чем на двух образцах, изготовленных из противоположных концов изделий с измеренной резонансной частотой и массой. За окончательный результат принимают среднее значение двух определений.

Проводят расчеты линейных уравнений регрессии, построение номограммы и расчеты границ допустимых расхождений между результатами, полученными неразрушающим и разрушающим методами, а также корректировку используемых регрессионных уравнений и номограмм путем сопоставления результатов разрушающего и неразрушающего методов определения для каждой десятой партии контролируемой продукции.

Правила расчета уравнений регрессии, границ допустимых расхождений, проведения их периодического контроля, корректировки и построения номограмм утверждаются в установленном порядке.

По измеренным значениям массы и резонансной частоты с помощью уравнений регрессии или построенных на их основе номограмм определяют открытую пористость, кажущуюся плотность, плотность и предел прочности при сжатии. При значениях массы и частоты контролируемого изделия, выходящих за пределы соответствующих диапазонов их изменений, определение показателей свойств этого изделия проводят разрушающими методами.

2.3.3. Акустический метод контроля напряжений в материале трубопроводов

Акустический эхо-метод применяется для определения одноосных или двухосных (осевых и окружных) напряжений 1-го рода в материале трубопроводов в условиях упругой деформации.

Определяются механические напряжения, усредненные по толщине материала и площади ультразвукового пучка, с использованием объемных ультразвуковых волн, распространяющихся в стенке трубы в радиальном направлении.

Метод акустической тензометрии может быть применен как при стендовых испытаниях труб, так и в натурных условиях, при монтажных, пусконаладочных работах и в процессе эксплуатации.

Данный метод может быть использован для тонкостенных (с отношением внутреннего диаметра трубы к толщине стенки не менее 20) бесшовных и прямошовных металлических труб диаметром свыше 325 мм, применяемых для строительства магистральных и технологических трубопроводов.

Метод основан на существующей в области упругих деформаций линейной зависимости скоростей распространения объемных упругих волн в направлении, перпендикулярном к плоскости действия напряжений, от механических напряжений, действующих в осевом и окружном направлениях.

Так как для тонкостенных труб, нагруженных внутренним давлением, напряжения в радиальном направлении малы по сравнению с напряжениями в осевых и окружных направлениях, то напряженное состояние считают локально плоским и зависимостью скоростей распространения объемных упругих волн от радиальных напряжений пренебрегают.

Принимают радиальное (перпендикулярно к плоскости действия измеряемых напряжений) направление распространения волн.

Схема прозвучивания материала соответствует эхо-методу ультразвукового контроля. Способ возбуждения упругих колебаний – контактный. Вид излучаемого сигнала – «радиоимпульс» с высокочастотным (ультразвуковым) заполнением, плавной огибающей и эффективной длительностью (на уровне 0,6 максимальной амплитуды) 2–4 периода основной частоты. Излучение и прием акустических сигналов обеспечивают специализированные приемопередающие (совмещенные) пьезоэлектрические преобразователи (ПЭП) продольных и сдвиговых волн по ГОСТ 26266. Измеряемые напряжения являются усредненными по объему ультразвукового пучка, определяемого поперечными размерами ПЭП и толщиной материала. Как правило, это главные напряжения в плоскости, перпендикулярной к радиальному направлению. Значения напряжений отсчитывают от их начального уровня, соответствующего начальным значениям акустических параметров t_{01}, t_{02} и t_{03}, где t_{01} – задержка импульса упругой сдвиговой волны, поляризованной в осевом направлении, при начальном уровне напряжений, мкс; t_{02} – задержка импульса упругой сдвиговой волны, поляризованной в окружном направлении, при начальном уровне напряжений, мкс; t_{03} – задержка импульса упругой продольной волны при начальном уровне напряжений, мкс.

Различают два режима определения механических напряжений по данным ультразвуковых измерений:

– акустическую тензометрию, когда значения начальных задержек двух сдвиговых, с взаимно перпендикулярной поляризацией, и продольной волн определяют непосредственно в точке измерений до возникновения искомых напряжений;

– безнулевую акустическую тензометрию, когда значения начальных акустических параметров определяют на образцах – представителях материала трубы или иным косвенным способом.

Порядок проведения безнулевой акустической тензометрии и оценки погрешности измерения в этом режиме описан в прил. 5.

Коэффициенты упругоакустической связи (КУАС), применяемые для перехода от акустических параметров к «силовым» (значениям напряжений), являются характеристиками материала, определяемыми модулями его линейной и нелинейной упругости. Значения КУАС для трубных сталей должны быть определены с максимально допустимой относительной погрешностью +/-10 %. Влияние температуры на точность измерения напряжений учитывают с помощью термоакустического коэффициента.

В качестве средств измерений используют установки, собранные из серийной аппаратуры, или специализированные приборы для опреде-

ления напряжений (далее – приборы), сертифицированные и поверяемые в установленном порядке.

Средства измерений должны содержать комплект пьезоэлектрических преобразователей (ПЭП), обеспечивающих излучение и прием сдвиговых и продольных упругих волн.

При необходимости в их состав включают контактный термометр.

Алгоритмическая часть программного обеспечения должна выполнять вычисление акустических параметров с допустимой погрешностью.

Программное обеспечение должно учитывать условия проведения акустических измерений на объект контроля, в частности, температурный режим.

Вспомогательными устройствами и материалами при проведении измерений являются:

– шлифовальный инструмент для подготовки поверхности по ГОСТ 12.2.013.0;

– обезжиривающая жидкость (спирт по ГОСТ 17299 или ацетон по ГОСТ 2768) для подготовки поверхности;

– контактная жидкость (эпоксидная смола по ГОСТ 10587).

Толщина стенки трубопровода должна быть, по крайней мере, в 20 раз меньше диаметра трубы, температура поверхности в точке измерения: 0 °С – 80 °С. Перед установкой ПЭП поверхность очищают от грязи, окалины, ржавчины и обезжиривают. Класс шероховатости поверхности в точке измерений должен быть не ниже Ra 2,5, а расстояние от точки измерений до сварного шва – не менее удвоенной толщины стенки трубы. Вязкость контактной жидкости при температуре измерения должна соответствовать вязкости эпоксидной смолы при температуре 25 °С: 12 – 25 Па·с.

На этапе подготовки к проведению измерений изучают сертификаты на материал трубопровода, определяют вид напряженного состояния трубопровода (одноосное или двухосное), расположение точек измерений и выбирают схему измерения напряжений, приводят состояние поверхности в выбранных точках в соответствие условиям проведения измерений.

Размеры подготовленных поверхностей должны в три раза превышать соответствующие размеры пьезопластин ПЭП.

Затем наносят слой контактной жидкости на поверхность трубопровода, устанавливают ПЭП, подключают их к прибору.

После включения прибора, проверяют его работоспособность, выводя на экран видеоконтрольного устройства временную развертку принимаемых сигналов.

При проверке качества акустического контакта на экране видеоконтрольного устройства без значительных видимых искажений должны наблюдаться многократно отраженные импульсы, задержка которых при счете от первого отраженного импульса должна составлять значения, обеспечивающие требуемую точность измерений напряжений. При этом на временной развертке должны отсутствовать дополнительные импульсы, вызванные либо наличием в области измерения дополнительных отражающих поверхностей (дефектов, слоев), либо неправильной ориентацией преобразователя сдвиговых колебаний относительно осей симметрии материала.

Измеряют в выбранных точках температуру поверхности трубопровода с погрешностью +/- 1 °С (при необходимости).

При проведении измерений для каждого типа волны, применяемого при измерении, выполняют следующие операции:

1. На временной развертке выбирают «первый» эхо-импульс (первый отраженный импульс) и следующий за ним «второй» эхо-импульс для измерения задержки импульса при его пробеге двойной толщины материала.

2. Для «первого» эхо-импульса отсчитывают момент времени, соответствующий определенной реперной точке профиля импульса. В качестве реперной точки, как правило, выбирают одну из точек пересечения сигналом нулевого уровня.

3. Для «второго» эхо-импульса с той же погрешностью, что и для «первого», определяют момент времени, соответствующий той же самой реперной точке профиля этого импульса.

4. По разности времен определяют задержку импульса $t_{2\text{-}1}$.

Если $t_{2\text{-}1}$ не удовлетворяет неравенству

$$t_{2-1} > \frac{\Delta t_{\max}}{\Delta\sigma\left|k_{\min}\right| + \Delta k_{\max}\sigma_{02}},$$

проводят измерение временного интервала между «первым» и «n-м» эхо-импульсами $t_{n\text{-}1}$ (n – порядковый номер эхо-импульса на временной развертке), учитывая вышеприведенное неравенство. Порядок измерения $t_{n\text{-}1}$ аналогичен порядку измерения t_{2-1}.

Для проверки совпадения реперных точек «первого» и «n-го» эхо-импульсов, а также для оценки допустимости степени фазового искажения «n-го» эхо-импульса используют следующее соотношение:

$$\left|t_{n-1} - kt_{2-1}\right| < \frac{T_3}{2},$$

где k – число отражений «n-го» эхо-импульса относительно «первого»;

T_3 – период высокочастотного заполнения импульса.

5. После установки пьезоэлектрических преобразователей измеряют начальные значения задержек для волн каждого типа, применяемых при измерении. После приложения нагрузки измеряют текущие значения задержек для соответствующих волн.

6. После измерения начальных значений допускается снятие ПЭП с контролируемого объекта с повторной их установкой в те же точки для измерений текущих значений.

7. Полученные для каждого типа волны временные развертки рекомендуется записывать в базу данных для хранения и последующего уточнения (при необходимости) значений временных задержек.

Вычисление механических напряжений проводят в соответствии с рекомендациями «Методика выполнения измерений. Свидетельство 531/1700. Трубы стальные для трубопроводов. Методика выполнения измерений механических напряжений методом акустоупругости» и ГОСТ Р 52890.

Результаты контроля фиксируют в журнале, по форме, приведенной ниже.

ФОРМА ПРОТОКОЛА ИЗМЕРЕНИЙ

«УТВЕРЖДАЮ»
Руководитель
_____
наименование организации
_____ _____
личная подпись, инициалы, фамилия
«_____» _____ 20___ г.

ПРОТОКОЛ
измерения механических напряжений

_____
(объект контроля, контролируемый участок трубопровода)

1. Дата измерения _____
2. Организация, проводящая измерения _____
3. Владелец объекта _____
4. Данные об объекте контроля:
   назначение _____
   завод-изготовитель, технология изготовления трубы _____
   режим термо- или виброобработки _____
   диаметр, толщина трубы _____
   состояние поверхности _____
   дополнительные сведения об объекте контроля _____
5. Условия нагружения объекта контроля при проведении измерений:
   внутреннее давление _____
   температура рабочей среды _____
   температура окружающей среды _____
   дополнительные нагрузки _____

6. Эскиз объекта контроля с указанием местоположения точек измерений и их нумерации (в приложении)
7. Сведения о материалах объекта контроля:
страна-изготовитель _____
марка материала (национальный, иной стандарт) _____
технология изготовления _____
8. Режим измерений (акустическая тензометрия, безнулевая акустическая тензометрия) _____
_____
9. Таблица 1 – Значения акустической анизотропии в точках измерений и число эхо-импульсов

Номер точки измерений	Материал	Анизотропия в момент измерения, %	$n_{\parallel}$	$n_{\perp}$	n_{I}

условия определения начальных значений задержек (для акустической тензометрии) _____
способ определения начальных значений акустических параметров (для безнулевой акустической тензометрии) _____
_____
10. Наименование и код базы данных _____

11. Таблица 2 – Результаты измерений

Номер точки измерений	Начальные значения задержек импульсов, мкс	Температура материала, ˚С	Текущие значения задержек импульсов, мкс	Температура материала, ˚С

Значения напряжений и погрешности измерения (МПа)			
сигма z	Дельта z	сигма t	Дельта t

Обследование провел оператор: _____ _____
личная подпись инициалы, фамилия

Руководитель лаборатории
неразрушающего контроля: _____ _____
личная подпись инициалы, фамилия

В табл. 1 формы указывают номер эхо-импульса, используемого для измерения задержек:

$n_{\parallel}$ – для сдвиговой волны, поляризованной параллельно образующей трубы;

$n_{\perp}$ – для сдвиговой волны, поляризованной перпендикулярно к образующей трубы;

n_{I} – для продольной волны.

В табл. 2 формы в графах «Начальные значения» и «Текущие значения» допускается вместо значений соответствующих задержек указывать наименования записей в базе данных с измеренными значениями.

Результаты контроля сохраняют до следующего контроля ОК.

2.4. Методы ультразвукового контроля сварных соединений

Методы ультразвукового контроля применяются для стыковых, угловых, нахлесточных и тавровых соединений, выполненных дуговой, электрошлаковой, газовой, газопрессовой, электронно-лучевой и стыковой сваркой оплавлением, в сварных конструкциях из металлов и сплавов для выявления трещин, непроваров, пор, неметаллических и металлических включений.

При контроле должны быть использованы следующие средства:

– ультразвуковой импульсный дефектоскоп по ГОСТ 23049 с преобразователями пьезоэлектрическими;

– стандартные образцы для настройки дефектоскопа;

– вспомогательные приспособления и устройства для соблюдения параметров сканирования и измерения характеристик выявленных дефектов.

Дефектоскопы и стандартные образцы, используемые для контроля, должны быть аттестованы и поверены в установленном порядке. Допускается использовать дефектоскоп с электромагнитоакустическими преобразователями.

Для контроля следует использовать дефектоскопы, укомплектованные прямыми и наклонными преобразователями, имеющие аттенюатор, позволяющие определять координаты расположения отражающей поверхности. Допускается применять дефектоскопы с аттенюатором, значение ступени ослабления которого составляет 2 дБ, дефектоскопы без аттенюатора с системой автоматического измерения амплитуды сигнала.

Пьезоэлектрические преобразователи выбирают с учетом:

– формы и размеров электроакустического преобразователя;

– материала призмы и скорости распространения продольной ультразвуковой волны при температуре (20 +/- 5) °С;

– среднего пути ультразвука в призме.

Стандартные образцы СО-1 (рис. 2.6), СО-2 (рис. 2.7) и СО-3 (рис. 2.8) следует применять для измерения и проверки основных параметров аппаратуры и контроля при эхо-импульсном методе и совмещенной схеме включения пьезоэлектрического преобразователя с плоской рабочей поверхностью на частоту 1,25 МГц и более при условии, что ширина преобразователя не превышает 20 мм. В остальных случаях для проверки основных параметров аппаратуры и контроля должны использоваться стандартные образцы отрасли (предприятия).

Стандартный образец СО-1 (рис. 2.6) применяют для определения условной чувствительности, проверки разрешающей способности и погрешности глубиномера дефектоскопа.

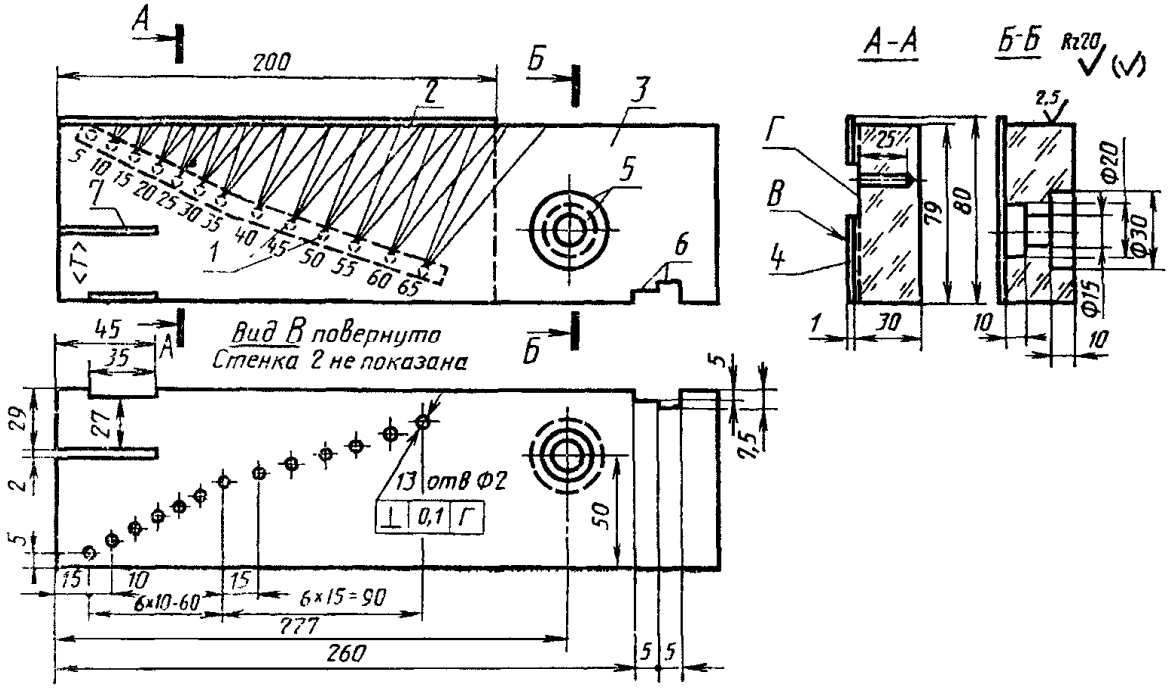


Рис. 2.6. Стандартный образец СО-1:
1 – отверстия для определения условной чувствительности; 2 – стенка; 3 – основание; 4 – прокладка, защищающая отверстия 1 от загрязнения; 5 – отверстия для определения разрешающей способности; 6 – пазы для определения разрешающей способности; 7 – паз для определения погрешности глубиномера; Т – время, измеренное до целых значений микросекунд

Образец СО-1 должен быть изготовлен из органического стекла.

Стандартный образец СО-2 (рис. 2.7) применяют для определения условной чувствительности, мертвой зоны, погрешности глубиномера,

угла α ввода луча, ширины основного лепестка диаграммы направленности, импульсного коэффициента преобразования при контроле соединений из малоуглеродистой и низколегированной сталей, а также для определения предельной чувствительности.

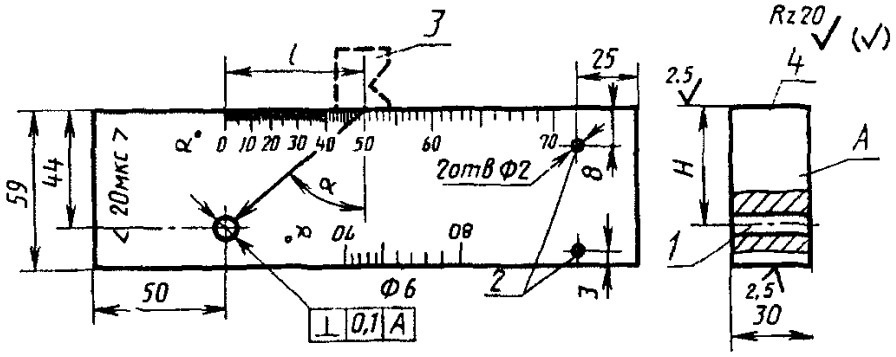


Рис. 2.7. Стандартный образец СО-2:
1 – отверстие для определения угла ввода луча, ширины основного лепестка диаграммы направленности, условной и предельной чувствительности;
2 – отверстие для проверки мертвой зоны; 3 – преобразователь;
4 – блок из стали марки 20 или стали марки 3

Образец СО-2 должен быть изготовлен из стали марки 20 по ГОСТ 1050 или стали марки 3 по ГОСТ 14637. При контроле соединений из металлов, отличающихся по акустическим характеристикам от малоуглеродистой и низколегированной сталей, для определения угла ввода луча, ширины основного лепестка диаграммы направленности, мертвой зоны, а также предельной чувствительности должен применяться стандартный образец СО-2А (рис.2.8).

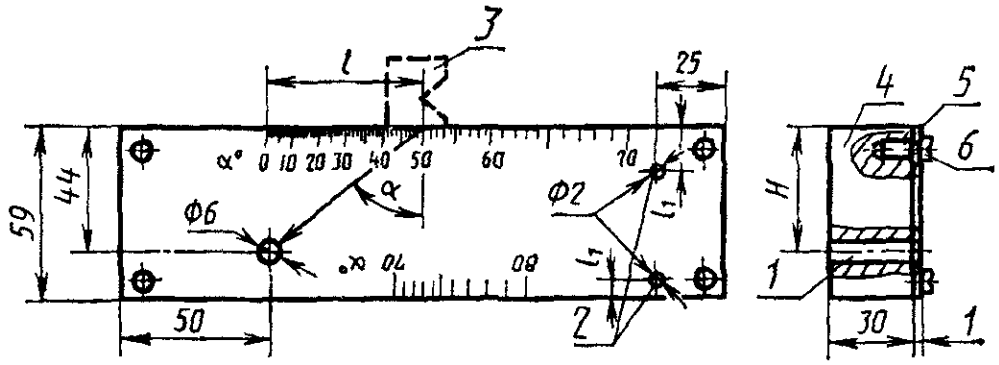


Рис. 2.8. Стандартный образец СО-2А:
1 – отверстие для определения угла ввода луча, ширины основного лепестка диаграммы направленности, условной и предельной чувствительности;
2 – отверстия для проверки мертвой зоны; 3 – преобразователь;
4 – блок из контролируемого металла; 5 – шкала; 6 – винт

Требования к материалу образца, числу отверстий 2 и расстояниям l_1, определяющим центр отверстий 2 в образце СО-2А, должны быть указаны в технической документации на контроль.

Нуль шкалы должен совпадать с осью, проходящей через центр отверстия диаметром (6 + 0,3) мм перпендикулярно к рабочим поверхностям образца, с точностью +/- 0,1 мм.

Время распространения ультразвуковых колебаний в прямом и обратном направлениях, указанное на стандартных образцах СО-1 и СО-2, должно быть (20 +/- 1) мкс.

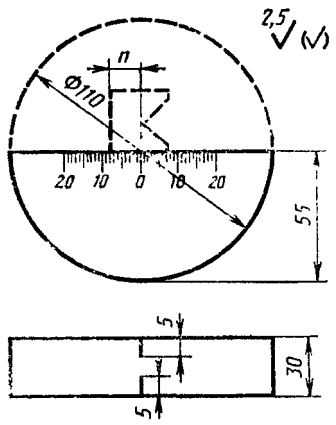


Рис. 2.9. Стандартный образец СО-3

Стандартный образец СО-3 (рис. 2.9) следует применять для определения точки выхода 0 ультразвукового луча, стрелы *n* преобразователя.

Допускается применять стандартный образец СО-3 для определения времени распространения ультразвуковых колебаний в призме преобразователя.

Стандартный образец СО-3 изготавливают из стали марки 20 по ГОСТ 1050 или стали марки 3 по ГОСТ 14637. Скорость распространения продольной волны в образце при температуре (20 +/- 5) °С должна быть (5900 +/- 59) м/с. Измеренное с погрешностью не хуже 0,5 % значение скорости должно быть указано в паспорте на образец.

На боковых и рабочей поверхностях образца должны быть выгравированы риски, проходящие через центр полуокружности и по оси рабочей поверхности. В обе стороны от рисок на боковые поверхности наносят шкалы. Нуль шкалы должен совпадать с центром образца с точностью +/- 0,1 мм.

При контроле соединений из металла, скорость распространения поперечной волны в котором меньше скорости распространения поперечной волны в стали марки 20, и при использовании преобразователя с углом падения волны, близким ко второму критическому углу в стали марки 20, для определения точки выхода и стрелы преобразователя следует применять стандартный образец предприятия СО-3А, изготовленный из контролируемого металла по рис. 2.9. Требования к металлу образца СО-3А должны быть указаны в технической документации на контроль, утвержденной в установленном порядке.

Сварное соединение подготавливают к ультразвуковому контролю при отсутствии в соединении наружных дефектов. Форма и размеры околошовной зоны должны позволять перемещать преобразователь в пределах, обеспечивающих прозвучивание акустической осью преобразователя сварного соединения или его части, подлежащей контролю.

Сварное соединение следует маркировать и разделять на участки так, чтобы однозначно устанавливать место расположения дефекта по длине шва.

Трубы и резервуары перед контролем отраженным лучом должны быть освобождены от жидкости. Допускается контролировать трубы и резервуары с жидкостью по методике, оговариваемой в технической документации на контроль, утвержденной в установленном порядке. Угол ввода луча и пределы перемещения преобразователя следует выбирать такими, чтобы обеспечивалось прозвучивание сечения шва прямым и однократно отраженным лучами или только прямым лучом.

Допускается контролировать сварные соединения многократно отраженным лучом.

Длительность развертки следует устанавливать так, чтобы наибольшая часть развертки на экране электронно-лучевой трубки соответствовала пути ультразвукового импульса в металле контролируемой части сварного соединения.

Основные параметры контроля:

1) длина волны или частота ультразвуковых колебаний (дефектоскопа);

2) чувствительность;

3) положение точки выхода луча (стрела преобразователя);

4) угол ввода ультразвукового луча в металл;

5) погрешность глубиномера (погрешность измерения координат);

6) мертвая зона;

7) разрешающая способность по дальности и (или) фронту;

8) характеристики электроакустического преобразователя;

9) минимальный условный размер дефекта, фиксируемого при заданной скорости сканирования;

10) длительность импульса дефектоскопа.

Перечень параметров, подлежащих проверке, численные значения, методика и периодичность их проверки должны оговариваться в технической документации на контроль.

Основные параметры перечисления 1) – 6), следует проверять по стандартным образцам СО-1 (рис. 2.6), СО-2 (или СО-2А) (рис. 2.7 и 2.8), СО-3 (рис. 2.10а), СО-4 (рис. 2.9) и стандартному образцу предприятия (рис. 2.10, б,в,г).

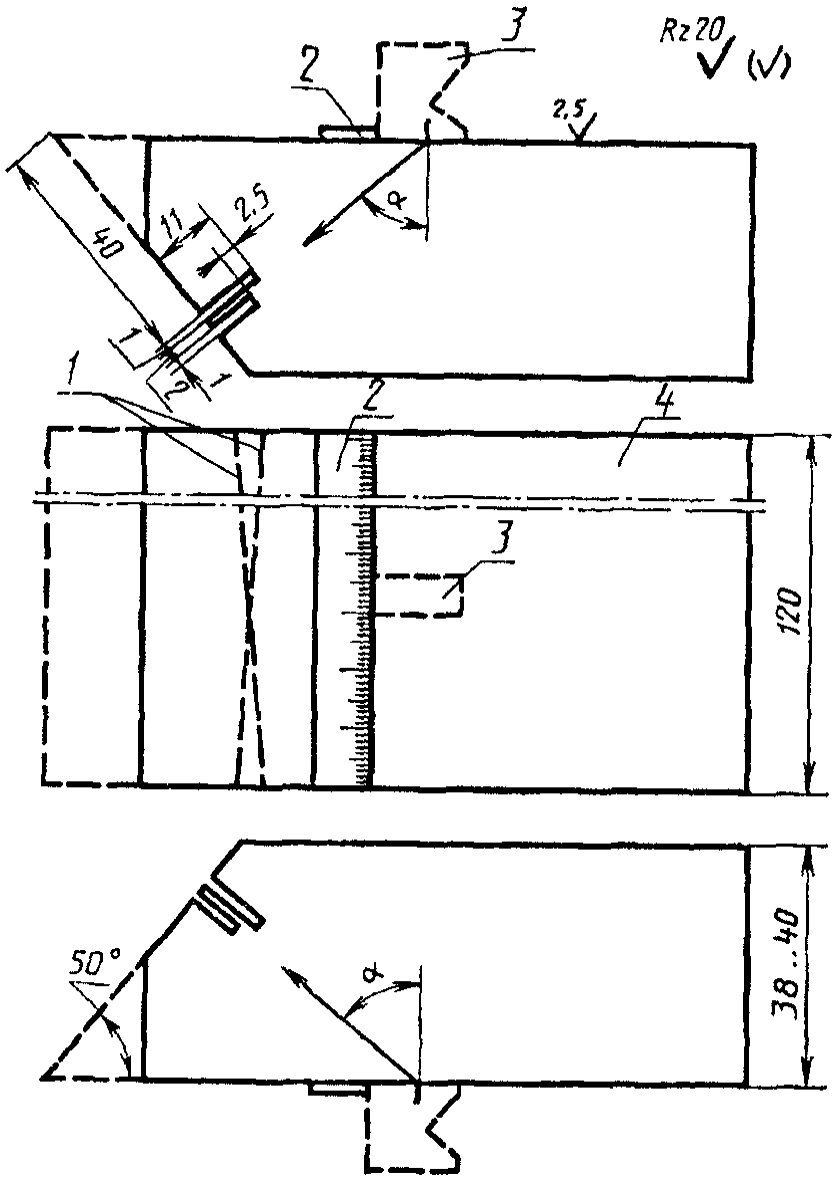
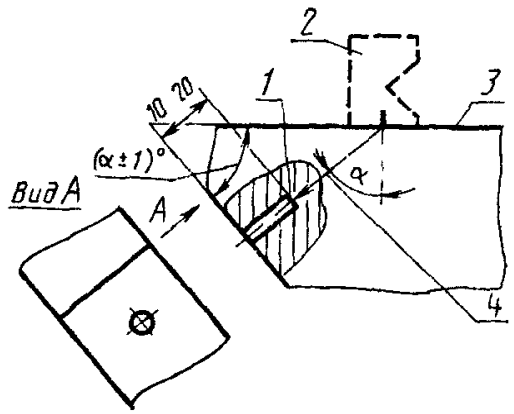


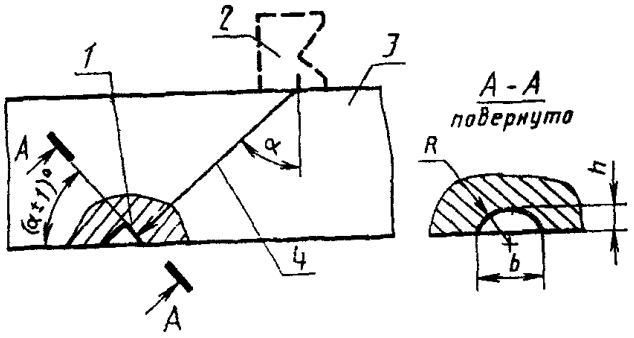
Рис. 2.9. Образец СО-4предприятия для измерения длины волны и частоты ультразвуковых колебаний преобразователей:
1 – пазы; 2 – линейка; 3 – преобразователь; 4 – блок из стали марки 20 по ГОСТ 1050-74 или стали марки 3 по ГОСТ 14637-79; разность глубины пазов на концах образца (h), ширина образца (l)

а



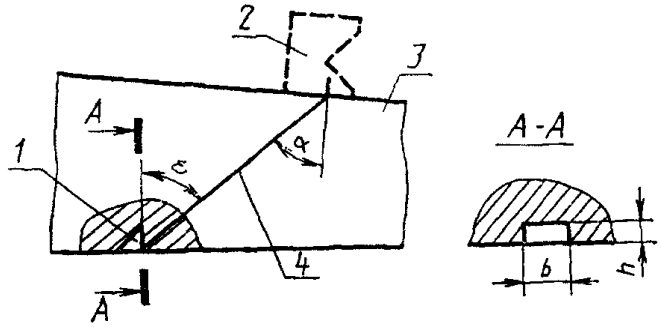
1 – дно отверстия; 2 – преобразователь; 3 – блок из контролируемого металла; 4 – акустическая ось

б



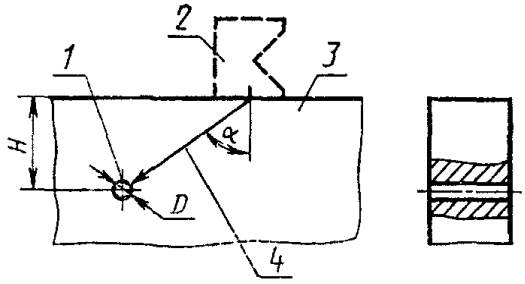
1 – плоскость сегментного отражателя; 2 – преобразователь; 3 – блок из контролируемого металла; 4 – акустическая ось

в



1 – плоскость углового отражателя; 2 – преобразователь; 3 – блок из контролируемого металла; 4 – акустическая ось

г



1 – цилиндрическое отверстие; 2 – преобразователь; 3 – блок из контролируемого металла; 4 – акустическая ось

Рис. 2.10. Стандартный образец предприятия

Частоту ультразвуковых колебаний следует измерять радиотехническими методами путем анализа спектра эхо-сигнала на преобразователе от вогнутой цилиндрической поверхности стандартного образца СО-3 или измерением длительности периода колебаний в эхо-импульсе посредством широкополосного осциллографа.

При контроле сварных соединений следует применять эхо-импульсный, теневой (зеркально-теневой) или эхо-теневой методы.

При эхо-импульсном методе применяют совмещенную (рис. 2.11), раздельную (рис. 2.12) и раздельно-совмещенную (рис. 2.13) схемы включения преобразователей.

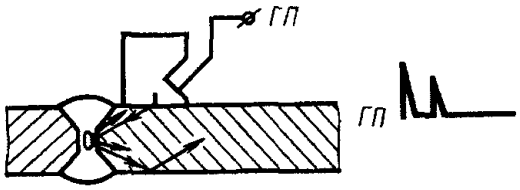


Рис. 2.11. Совмещенная схема включения преобразователей при эхо-импульсном методе

а б

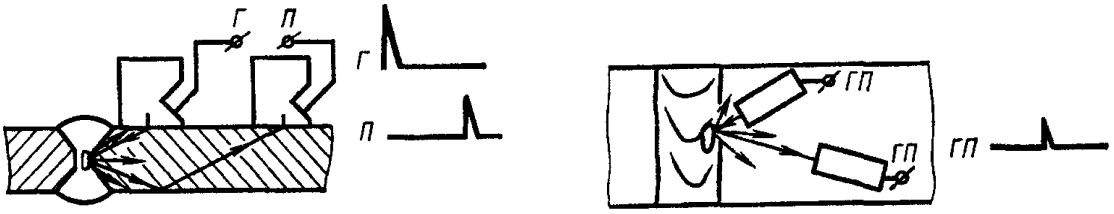


Рис. 2.12. Раздельная схема включения преобразователей при эхо-импульсном методе

а б

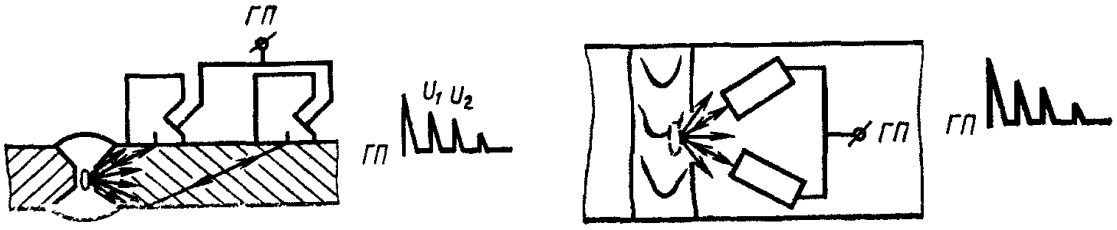


Рис. 2.13. Раздельно-совмещенная схема включения преобразователей при эхо-импульсном методе

При теневом методе применяют раздельную (рис. 2.14) схему включения преобразователей.

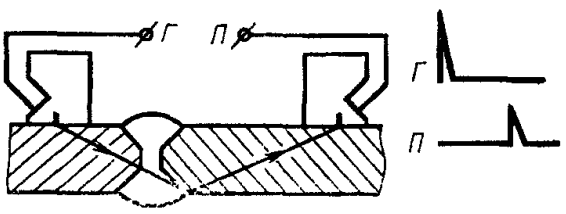


Рис. 2.14. Раздельная схема включения преобразователей при теневом методе:
Г – вывод к генератору ультразвуковых колебаний; П – вывод к приемнику

При эхо-теневом методе применяют раздельно-совмещенную (рис. 2.15) схему включения преобразователей.

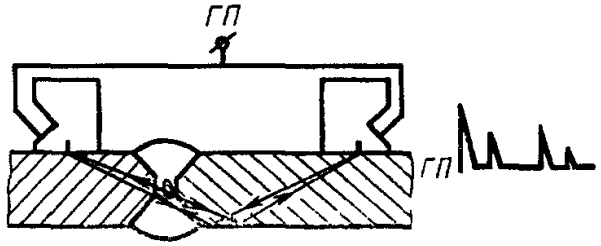


Рис. 2.15. Схема включения преобразователей
при эхо-теневом методе:
Г – вывод к генератору ультразвуковых колебаний; П – вывод к приемнику

Стыковые сварные соединения следует прозвучивать по схемам, приведенным на рис. 2.16, тавровые соединения – по схемам, приведенным на рис. 2.17, и нахлесточные соединения – по схемам, приведенным на рис. 2.18.

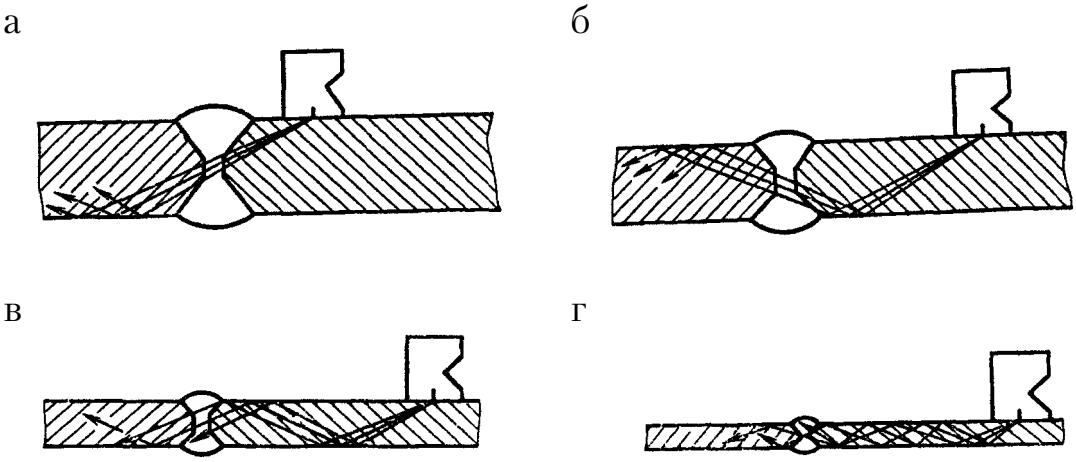


Рис. 2.16. Схемы прозвучивания стыковых сварных соединений

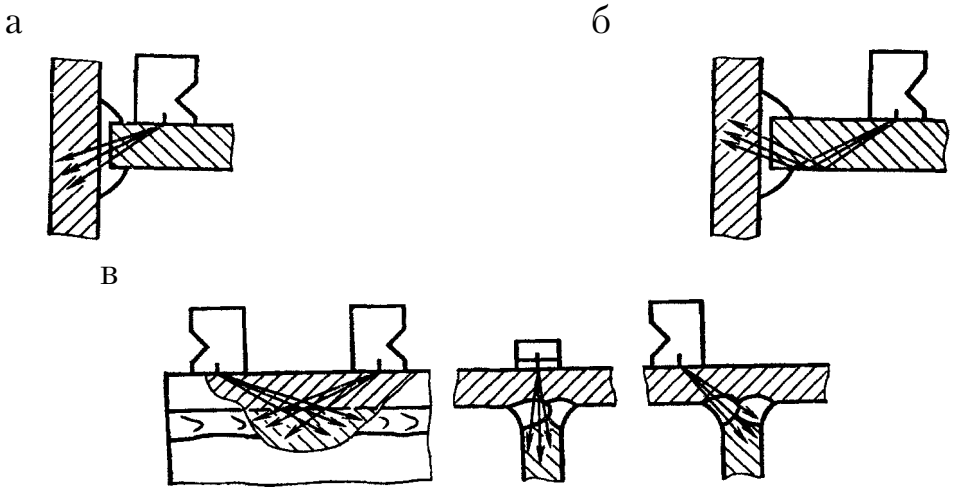


Рис. 2.17. Схемы прозвучивания тавровых соединений

Рис. 2.18. Схемы прозвучивания нахлесточных соединений

Прозвучивание сварного соединения выполняют по способу продольного и (или) поперечного перемещения преобразователя при постоянном или изменяющемся угле ввода луча. Способ сканирования должен быть установлен в технической документации на контроль, утвержденной в установленном порядке.

Шаги сканирования (продольного Δ_{cl} или поперечного Δ_{ct}) определяют с учетом заданного превышения чувствительности поиска над чувствительностью оценки, диаграммы направленности преобразователя и толщины контролируемого сварного соединения. Методика определения максимальных шагов сканирования Δ^*_{cl} и Δ^*_{ct} приведена в ГОСТ 14782.

Следует знать, что метод, основные параметры, схемы включения преобразователей, способ ввода ультразвуковых колебаний, схема прозвучивания, а также рекомендации по разделению ложных сигналов и сигналов от дефектов должны быть указаны в технической документации на контроль, утвержденной в установленном порядке.

Оценку результатов исследований при определении качества сварных соединений по данным ультразвукового контроля следует проводить в соответствии с нормативно-технической документацией на изделие, утвержденной в установленном порядке.

Основными измеряемыми характеристиками выявленного дефекта являются:

1) эквивалентная площадь дефекта $S_э$ или амплитуда $U_д$ эхо-сигнала от дефекта с учетом измеренного расстояния до него;

2) координаты дефекта в сварном соединении;

3) условные размеры дефекта;

4) условное расстояние между дефектами;

5) количество дефектов на определенной длине соединения.

Эквивалентную площадь дефекта следует определять по амплитуде эхо-сигнала путем сравнения ее с амплитудой эхо-сигнала от отражателя в образце или путем использования расчетных диаграмм при условии сходимости их с экспериментальными данными не менее 20 %.

Условными размерами выявленного дефекта являются (рис. 2.19):

1) условная протяженность ΔL;

2) условная ширина ΔX;

3) условная высота ΔH.

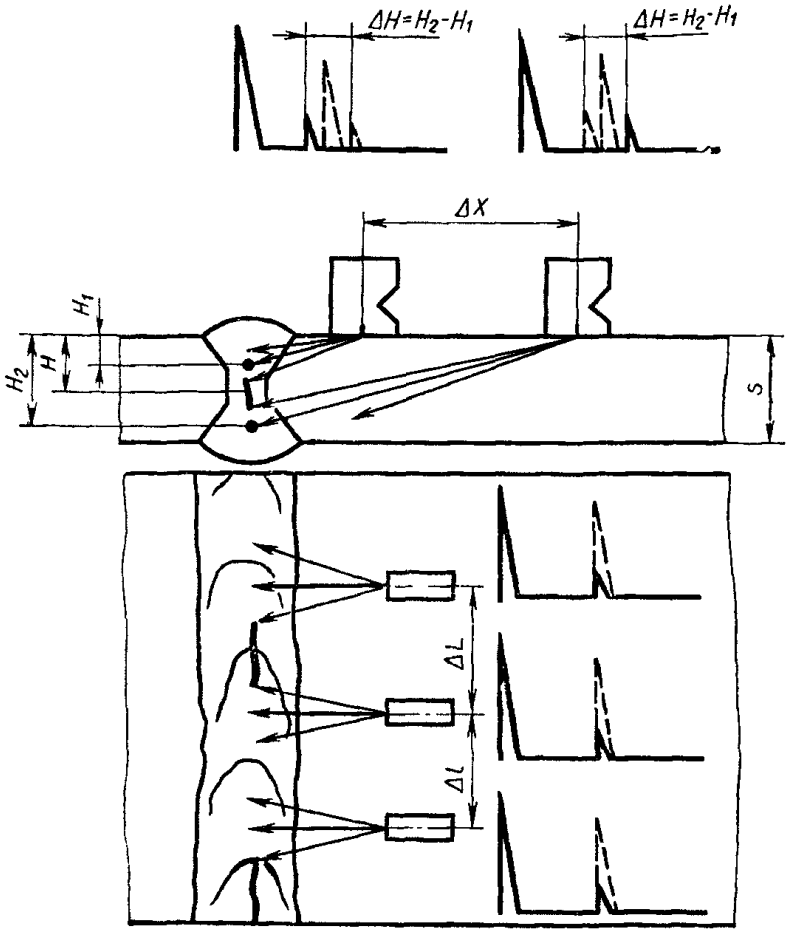


Рис. 2.19. Условные размеры дефекта

Условную протяженность ΔL в миллиметрах измеряют по длине зоны между крайними положениями преобразователя, перемещаемого вдоль шва, ориентированного перпендикулярно к оси шва.

Условную ширину ΔX в миллиметрах измеряют по длине зоны между крайними положениями преобразователя, перемещаемого в плоскости падения луча.

Условную высоту ΔH в миллиметрах или микросекундах измеряют как разность значений глубины расположения дефекта в крайних положениях преобразователя, перемещаемого в плоскости падения луча.

Дополнительной характеристикой выявленного дефекта являются его конфигурация и ориентация.

Результаты контроля должны быть записаны в журнале или заключении, или на схеме сварного соединения, или в другом документе, где должны быть указаны:

– тип контролируемого соединения, индексы, присвоенные данному изделию и сварному соединению, и длина проконтролированного участка;

– техническая документация, в соответствии с которой выполнялся контроль;

– тип дефектоскопа;

– непроконтролированные или неполностью проконтролированные участки сварных соединений, подлежащие ультразвуковому контролю;

– результаты контроля;

– дата контроля;

– фамилия дефектоскописта.

2.5. Магнитный метод неразрушающего контроля механических свойств и микроструктуры металлопродукции

Магнитный метод применяют для определения механических свойств и микроструктуры сортового, листового, полосового, фасонного проката, листов с немагнитными покрытиями, труб, многослойных листов и лент из углеродистых, легированных и электротехнических марок стали, изделий из вышеперечисленной металлопродукции.

Неразрушающий магнитный метод контроля применяется наряду с методами испытаний, установленными в стандартах по определению:

– предела текучести физического, условного, временного сопротивления, относительного удлинения после разрыва, относительного сужения поперечного сечения после разрыва по ГОСТ 1497 и ГОСТ 10006;

– относительного равномерного удлинения по ГОСТ 1497;

– коэффициента пластической анизотропии, показателей деформационного упрочнения и неравномерной пластической деформации по ГОСТ 11701;

– истинного сопротивления разрыву по ГОСТ 10006;

– твердости по ГОСТ 2999, ГОСТ 9012, ГОСТ 9013, ГОСТ 22975, ГОСТ 23273;

– величины зерна по ГОСТ 5639;

– полосчатости и структурно-свободного цементита по ГОСТ 5640;

– чувствительности стали к механическому старению по ГОСТ 7268;

– ударного изгиба по ГОСТ 9454;

– доли вязкой составляющей в изломе по ГОСТ 10006;

– глубины лунки по ГОСТ 10510;

– числа перегибов по ГОСТ 13813;

– сплющивания по ГОСТ 8695;

– угла изгиба или оценки предельной пластичности при изгибе по ГОСТ 14019;

– глубины обезуглероженного слоя по ГОСТ 1763;

– относительной деформации при осадке по ГОСТ 8817;

– загиба по ГОСТ 3728.

2.6. Магнитопорошковый метод

Магнитопорошковый метод неразрушающего контроля применяется для деталей, изделий и полуфабрикатов из ферромагнитных материалов с относительной магнитной проницаемостью не менее 40.

Данный метод неразрушающего контроля основан на явлении притяжения частиц магнитного порошка магнитными потоками рассеяния, возникающими над дефектами в намагниченных объектах контроля. Наличие и протяженность индикаторных рисунков, вызванных полями рассеяния дефектов, можно регистрировать визуально или автоматическими устройствами обработки изображения.

Метод предназначен для выявления поверхностных и подповерхностных нарушений сплошности волосовин, трещин различного происхождения, непроваров сварных соединений, флокенов, закатов, надрывов и т.п., но может быть использован и для контроля объектов с немагнитными покрытиями.

Чувствительность магнитопорошкового метода определяется магнитными характеристиками материала объекта контроля, его формой, размерами и шероховатостью поверхности, напряженностью намагничивающего поля, местоположением и ориентацией дефектов, взаимным направлением намагничивающего поля и дефекта, свойствами дефектоскопического материала, способом его нанесения на объект контроля, а также способом и условиями регистрации индикаторного рисунка выявляемых дефектов.

В зависимости от размеров выявляемых дефектов устанавливаются три условных уровня чувствительности, приведенные в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Условный уровень чувствительности	Минимальная ширина раскрытия условного дефекта, мкм	Минимальная протяженность условного дефекта, мм
А	2,0	
Б	10,0	0,5
В	25,0	

Условный уровень чувствительности А достигается при параметре шероховатости контролируемой поверхности Ra <= 2,5 мкм, уровни чувствительности Б и В – при Ra <= 10 мкм. При выявлении подповерхностных дефектов, а также при Ra > 10 мкм чувствительность метода понижается и условный уровень чувствительности не нормируется. Следует учитывать, что при контроле изделий с немагнитными покрытиями с увеличением толщины покрытия чувствительность метода понижается.

Магнитопорошковый контроль проводится по технологическим картам согласно ГОСТ 3.1102 и ГОСТ 3.1502, в которых указывают: наименование изделия (узла), наименование и номер детали, эскиз детали с указанием габаритных размеров, зону контроля, способ контроля, вид и схему намагничивания, значения намагничивающего тока или напряженности магнитного поля, средства контроля (аппаратуру, дефектоскопические материалы), нормы на отбраковку.

При контроле магнитопорошковым методом применяют стационарные, передвижные и переносные дефектоскопы по нормативно-технической документации. Допускается применять специализированные дефектоскопы, предназначенные для контроля конкретных изделий.

В зависимости от назначения дефектоскопы включают в себя следующие функциональные устройства:

– блок питания;

– блок формирования намагничивающего тока;

– намагничивающие устройства;

– устройство для размагничивания;

– устройство для нанесения дефектоскопических материалов;

– блок автоматического управления технологическими операциями контроля;

– исполнительные устройства для осуществления автоматических операций контроля;

– приборы и устройства для контроля качества дефектоскопических материалов и технологических процессов;

– устройства для осмотра контролируемой поверхности и регистрации дефектов.

Дефектоскопы должны быть снабжены измерителями намагничивающего тока. Погрешность измерений не должна превышать 10 %.

Устройства для осмотра контролируемой поверхности и регистрации дефектов включают в себя: УФ-облучатели, оптические устройства (лупы; бинокулярные, стереоскопические микроскопы; зеркала; эндоскопы), а также автоматизированные системы отработки изображений.

При магнитопорошковом методе контроля применяют магнитные дефектоскопические материалы: порошки, суспензии и магнитогуммированные пасты.

В зависимости от состояния контролируемой поверхности (ее цвета и шероховатости), магнитных свойств материала и требуемой чувствительности контроля используют магнитные порошки, имеющие естественную окраску, а также цветные и люминесцентные. Основные свойства магнитных порошков, влияющих на выявляемость дефектов: дисперсность, магнитные и оптические характеристики. Свойства магнитной суспензии, влияющие на выявляемость дефектов, определяются составом, концентрацией и свойствами отдельных ее компонентов.

Магнитопорошковый метод контроля включает технологические операции:

– подготовку к контролю;

– намагничивание объекта контроля;

– нанесение дефектоскопического материала на объект контроля;

– осмотр контролируемой поверхности и регистрация индикаторных рисунков дефектов;

– оценку результатов контроля;

– размагничивание.

При магнитопорошковом методе контроля применяют:

– способ остаточной намагниченности (СОН);

– способ приложенного поля (СПП).

При контроле СОН объект контроля предварительно намагничивают, а затем, после снятия намагничивающего поля, на его поверхность наносят дефектоскопический материал. Промежуток времени между указанными выше операциями должен быть не более часа. Осмотр контролируемой поверхности проводят после стекания основной массы суспензии. СОН применяют при контроле объектов из магнитотвердых материалов с коэрцитивной силой $H_c \geq 10$ А/см, с остаточной индукцией 0,5 Тл и более.

При контроле СПП операции намагничивания объекта контроля и нанесения суспензии выполняют одновременно. При этом индикаторные рисунки выявляемых дефектов образуются в процессе намагничивания. Намагничивание прекращают после стекания с контролируемой поверхности основной массы суспензии. Осмотр контролируемой поверхности проводят после прекращения намагничивания.

Для уменьшения нагрева объекта контроля рекомендуется применять прерывистый режим намагничивания, при котором ток по намагничивающему устройству пропускают в течение 0,1–3 с с перерывами до 5 с.

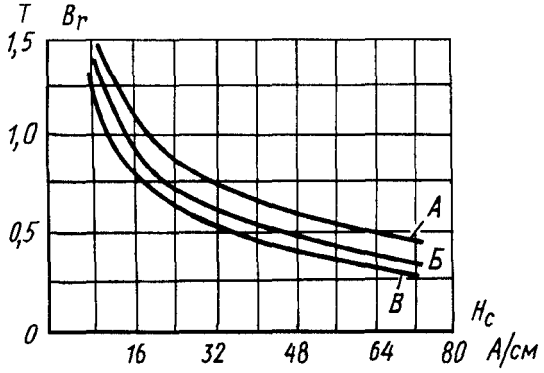
Способ контроля выбирают в зависимости от магнитных свойств материала объекта и требуемой чувствительности контроля в соответствии со следующей методикой.

По известным магнитным характеристикам (коэрцитивной силе H_c и остаточной индукции B_1) материала объекта определяют возможность достижения требуемого уровня чувствительности при контроле с использованием СОН.

При этом пользуются кривыми, приведенными на чертеже, которые соответствуют условным уровням чувствительности А, Б и В.

Контроль СОН с требуемой чувствительностью возможен в том случае, если остаточная индукция материала при заданном значении коэрцитивной силы равна или больше значения остаточной индукции, определенной по соответствующей кривой.

При необходимости проведения контроля с более высоким уровнем чувствительности, чем это позволяет СОН, следует применять СПП.



Подготовка к контролю должна включать:

– подготовку объекта к операциям контроля;

– проверку работоспособности дефектоскопов;

– проверку качества дефектоскопических материалов.

При контроле объектов с темной поверхностью при помощи черного магнитного порошка на контролируемую поверхность следует наносить покрытие, обеспечивающее необходимый контраст, толщиной до 20 мкм.

Проверку работоспособности дефектоскопов и качества дефектоскопических материалов проводят при помощи стандартных образцов предприятий, специально изготовленных или отобранных из числа забракованных изделий с дефектами, размеры которых соответствуют принятому уровню чувствительности.

МЕТОДИКА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБРАЗЦОВ

Образец N 1

1. Заготовку образца изготовляют из листовой стали, например ЭИ-962, по техническим условиям в виде пластины размерами 130×30×3,5–3,9 мм.

2. Заготовку рихтуют и шлифуют на глубину 0,1 – 0,2 мм.

3. На боковых гранях заготовки фрезерованием (угол фрезы 30°) выполняют прорези.

4. Азотируют на глубину 0,15–0,3 мм. Для получения трещин заданной длины проводят местное азотирование широкой грани образца в виде полосок. При этом длину трещин определяют шириной полосок.

5. Измеряют глубину азотированного слоя.

6. Заготовку образца полируют до шероховатости, обеспечивающей аттестацию параметров трещин.

7. Для формирования трещин образец помещают в приспособление для изгиба, которое должно иметь опору для образца и накладку из стали. Нагрузку подают на образец через накладку до появления характерного хруста от растрескивания азотированного слоя.

8. Ширину трещин измеряют на металлографическом микроскопе.

Образец N 2

1. Из прутка стали ЭИ-961 или ЭИ-736 по техническим условиям изготовляют образец в виде втулки наружным диаметром 48 мм, внутренним диаметром 44,4 мм и длиной 35 мм.

2. Образец шлифуют. Параметр шероховатости поверхности Ra <= 2,5 мкм по ГОСТ 2789.

3. Образец азотируют на глубину 0,15–0,3 мм.

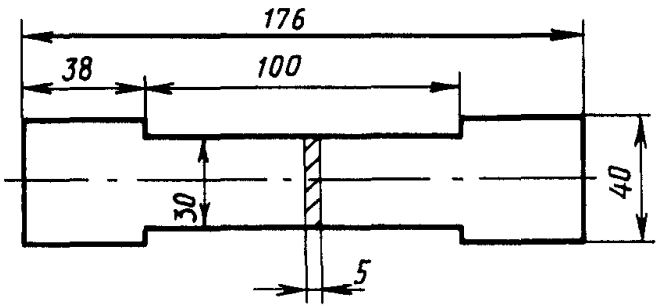
4. Образец полируют по наружному диаметру.

5. Для формирования трещин используют приспособление цилиндрической формы с четырьмя симметрично расположенными на поверхности клиньями, которые вдвигают во втулку. Нагрузку на клинья подают при помощи штока до появления характерного хруста, свидетельствующего о растрескивании азотированного слоя.

6. Ширину трещин измеряют на металлографическом микроскопе.

Образец N 3

1. Заготовку образца изготовляют из стали 20Х13 по ГОСТ 5632. Геометрические размеры образца приведены на чертеже.



2. Заготовку рихтуют и шлифуют на глубину 0,2–0,3 мм. Параметр шероховатости поверхности Ra <= 1,6 мкм по ГОСТ 2789.

3. Азотируют на глубину 0,2–0,3 мм. Азотирование проводят в две ступени. Первую ступень азотирования проводят в атмосфере аммиака при температуре 540 °С в течение 20 ч (степень диссоциации аммиака 30 %). Вторую ступень проводят в атмосфере аммиака при температуре 580 °С в течение 20 ч (степень диссоциации аммиака 60 %). Медленно охлаждают в печи до 200 °С в атмосфере аммиака, затем на воздухе.

4. Шлифуют обе стороны образца на глубину не более 0,05 мм с обильным охлаждением. Параметр шероховатости поверхности Ra <= 1,0 мкм по ГОСТ 2789.

5. Измеряют глубину азотированного слоя.

6. Для формирования трещин образец зажимают в разрывной машине и плавно нагружают до появления характерного хруста. Прилагаемые нагрузки выбирают опытным путем в зависимости от необходимой ширины трещин.

7. Ширину трещин измеряют на металлографическом микроскопе.

Образец N 4

1. Заготовку образца изготовляют из стали У10А по ГОСТ 1435 в виде цилиндра (длина 250–300 мм, диаметр 25 мм).

2. Заготовку образца закаливают до твердости 60...63 HRC.

3. Шлифуют цилиндрическую поверхность. Параметр шероховатости поверхности Ra <= 0,80 мкм по ГОСТ 2789.

4. На цилиндрическую поверхность заготовки наносят электролитически слой хрома толщиной 0,25–0,30 мм (по технологии пористого хромирования).

5. Шлифуют на глубину 0,1 мм твердым (Т и СТ) абразивным кругом без охлаждения при поперечной подаче 0,03–0,05 мм на один двойной ход и при продольной подаче 1–3 м/мин. При этом в хромовом покрытии и стальной основе образуются трещины.

6. Заготовку подвергают отпуску при температуре 160 °С – 180 °С.

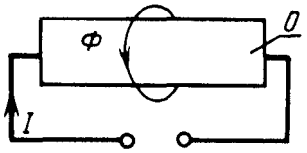
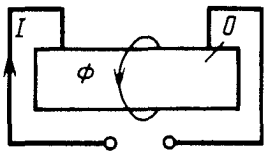
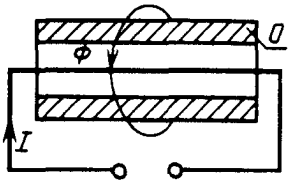
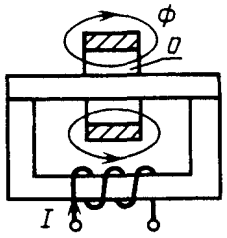
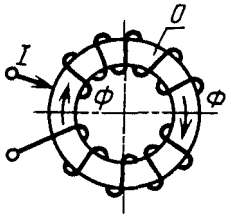
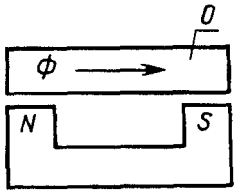
7. С поверхности заготовки электролитически удаляют слой хрома.

8. Ширину трещин на поверхности образца измеряют на металлографическом микроскопе.

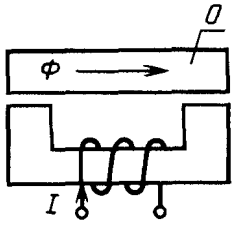
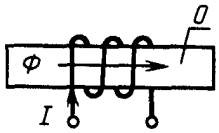
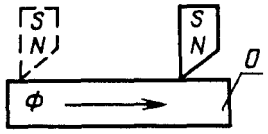
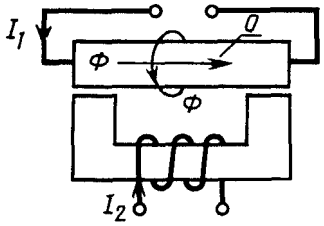
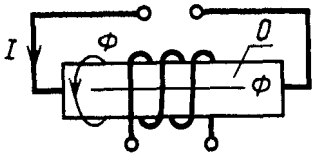
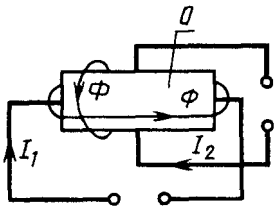
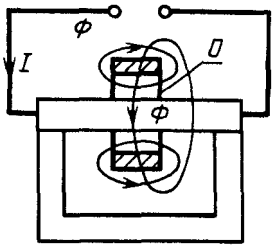
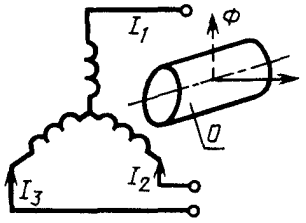
При магнитопорошковом контроле применяют намагничивание циркулярное, продольное (полюсное), комбинированное, во вращающемся магнитном поле.

Виды, способы и схемы намагничивания приведены в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Вид намагничивания	Способ намагничивания	Схема намагничивания
1	2	3
Циркулярное	Пропусканием тока по всему объекту	
	Пропусканием тока по части объекта	
	Пропусканием тока по проводнику, помещенному в сквозное отверстие в объекте	
	Путем индуцирования тока в объекте	
	Пропусканием тока по тороидальной обмотке	
Продольное (полюсное)	При помощи постоянного магнита	

Окончание табл. 2.4

1	2	3
	При помощи электромагнита	
	При помощи соленоида	
	Перемещением постоянного магнита по объекту	
Комбинированное	Пропусканием тока по объекту и при помощи электромагнита	
	Пропусканием тока по объекту и при помощи соленоида	
	Пропусканием по объекту двух токов во взаимно перпендикулярных направлениях	
	Индуцированием тока в объекте и пропусканием тока по проводнику, помещенному в сквозное отверстие в объекте	
Во вращающемся магнитном поле	При помощи соленоида вращающегося магнитного поля	

Принятые обозначения: О – объект контроля, Ф – магнитный поток, I – электрический ток.

Вид и способ намагничивания выбирают в зависимости от размеров и формы объекта, материала и толщины покрытия, а также от характера и ориентации дефектов, подлежащих выявлению. При этом наилучшее условие выявления дефектов – перпендикулярное направление намагничивающего поля по отношению к направлению ожидаемых дефектов.

При необходимости выявления дефектов различной ориентации применяют намагничивание в двух или трех взаимно перпендикулярных направлениях, комбинированное намагничивание, а также намагничивание во вращающемся магнитном поле.

Напряженность магнитного поля на контролируемом участке поверхности объекта выбирают в зависимости от требуемой чувствительности контроля в соответствии с ГОСТ 21105-87.

Значения напряженности магнитного поля на поверхности объекта контроля определяют при помощи измерителей напряженности магнитного поля или катушек поля.

При контроле объектов с большим размагничивающим фактором, имеющих отношение длины к эквивалентному диаметру менее 5, следует:

– составлять контролируемые изделия в цепочку, размещая их друг к другу торцевыми поверхностями;

– применять удлинительные наконечники;

– применять переменный намагничивающий ток.

При намагничивании объектов применяют следующие виды электрического тока: постоянный, переменный однофазный и трехфазный, выпрямленный однополупериодный и двухполупериодный, импульсный.

Комбинированное намагничивание применяют при контроле СПП.

Для нанесения магнитного порошка на поверхность объекта применяют способы:

– магнитной суспензии;

– сухого магнитного порошка;

– магнитогуммированной пасты.

Магнитную суспензию наносят на контролируемую поверхность путем полива или погружения объекта в ванну с суспензией, а также аэрозольным способом. Сухой магнитный порошок наносят на контролируемую поверхность при помощи различных распылителей, погружением объекта в емкость с порошком, а также способом воздушной взвеси. Способ воздушной взвеси применяют при выявлении подповерхностных дефектов, а также дефектов под слоем немагнитного покрытия толщиной от 100 до 200 мкм.

Осмотр контролируемой поверхности и регистрацию индикаторных рисунков выявляемых дефектов проводят визуально или с применением автоматизированных систем обработки изображений.

При использовании люминесцентных магнитных порошков осмотр контролируемой поверхности следует проводить при ультрафиолетовом облучении источником с длиной волны 315–400 нм. При этом УФ-облученность контролируемой поверхности должна быть не менее 2000 мкВт/см^2 (200 отн. ед. по ГОСТ 18442). Участок магнитопорошкового контроля должен быть снабжен дефектограммами с видами индикаторных рисунков характерных дефектов, а также стандартным образцом. Стандартный образец должен иметь паспорт и дефектограмму.

Детали, признанные годными по результатам магнитопорошкового метода контроля, должны быть, при необходимости, размагничены.

Способы размагничивания и проверки степени размагничивания, а также допустимую норму остаточной намагниченности каждого изделия устанавливают в отраслевой нормативно-технической документации на контроль изделий. Результаты контроля записывают в журналах, протоколах или перфокартах. Вид и объем записи устанавливают в отраслевой нормативно-технической документации на контроль изделий.

2.7. Радиационные методы дефектоскопии

Радиационные (радиографические, электрорадиографические, радиоскопические и радиометрические) методы дефектоскопии следует применять для обнаружения в объектах контроля следующих дефектов: нарушений сплошности и однородности материала, внутренней конфигурации и взаимного расположения объектов контроля, не доступных для технического осмотра при их изготовлении, сборке, ремонте и эксплуатации.

Виды дефектов, выявляемых радиационными методами при контроле объектов, указаны в табл. 2.5.

Таблица 2.5

Объект контроля	Вид дефекта
1	2
Слитки и отливки	Трещины, раковины, поры, рыхлоты, металлические и неметаллические включения, неслитины, ликвации
Сварные соединения, выполненные сваркой плавлением	Трещины, непровары, поры, раковины, метал лические и неметаллические включения, утяжины, превышения проплава, подрезы, прожоги, смещения кромок

Окончание табл. 2.5

1	2
Сварные соединения, выполненные точечной и роликовой сваркой	Трещины, поры, металлические и неметал лические включения, выплески, непровары (непровары определяют по отсутствию темного и светлого колец на изображении сварной точки при резко выраженной неоднородности литой зоны или при применении контрастирующих материалов)
Паяные соединения	Трещины, непропаи, раковины, поры, металлические и неметаллические включения
Клепаные соединения	Трещины в головке заклепки или основном материале, зазоры между телом заклепки и основным материалом, изменение формы тела заклепки
Сборочные единицы и детали, железо бетонные изделия и конструкции и т.п.	Трещины, раковины, коррозия, отклонения размеров, зазоры, перекосы, разрушение и отсутствие внутренних элементов изделия, отклонения толщины защитного слоя бетона, размеров и расположения арматуры и т.п.

2.7.1. Методика радиографического контроля

Метод радиографического контроля применяют для сварных соединений из металлов и их сплавов, выполненных сваркой плавлением, с толщиной свариваемых элементов от 1 до 400 мм, с использованием рентгеновского, гамма- и тормозного излучений и радиографической пленки.

Радиографический контроль применяют для выявления в сварных соединениях трещин, непроваров, пор, шлаковых, вольфрамовых, окисных и других включений, а также для выявления прожогов, подрезов, оценки величины выпуклости и вогнутости корня шва, недопустимых для внешнего осмотра. Данному виду контроля подвергают сварные соединения с отношением радиационной толщины наплавленного металла шва к общей радиационной толщине не менее 0,2, имеющие двусторонний доступ, обеспечивающий возможность установки кассеты с радиографической пленкой и источника излучения в соответствии с требованиями ГОСТ 7512-82.

При радиографическом контроле следует использовать радиографические пленки, соответствующие требованиям технических условий на них. При радиографическом контроле следует использовать источники излучения, предусмотренные ГОСТ 20426-82.

Напряжение на рентгеновской трубке, радиоактивный источник излучения, энергию ускоренных электронов бетатрона следует выбирать в зависимости от толщины и плотности просвечиваемого материала по табл. 2.6–2.8.

Таблица 2.6

Область применения радиографического метода дефектоскопии при использовании рентгеновских аппаратов

Толщина просвечиваемого материала, мм							Напряжение на рентгеновской трубке, кВ, не более
Сплав на основе				Неметаллический материал со средним атомным номером (плотность, г/см^3)			
железа	титана	алюминия	магния	14 (1,4)	6,2 (1,4)	5,5 (0,9)	
0,02	0,05	0,25	0,75	0,5	5	8	20
0,3	0,75	3,75	11	8	50	75	40
0,4	1	5	14	10	60	80	50
0,7	2	12	22	20	70	120	60
1,5	5	29	46				80
3	8	45	66				100
6	14	56	92				120
12	29	60	150				150
20	45	97	160				200
23	53	102	166				250
32	70	128	233				300
40	90	180	270				400
130	230	370	560				1000

Таблица 2.7

Область применения радиографического метода дефектоскопии при использовании гамма-дефектоскопов

Толщина просвечиваемого сплава, мм, на основе				Закрытый радиоактивный источник
железа	титана	титана	магния	
От 1 до 20	От 2 до 40	От 3 до 70	От 10 до 200	170 Tm
« 5 « 30	« 7 « 50	« 60 « 300	« 30 « 300	75 Se
« 5 « 100	« 10 « 120	« 40 « 350	« 70 « 450	192 Jr
« 10 « 120	« 20 « 150	« 50 « 350	« 100 « 500	137 Cs
« 30 « 200	« 60 « 300	« 200 « 500	« 300 « 700	60 Co

Таблица 2.8

Область применения радиографического метода дефектоскопии при использовании бетатронов

Толщина просвечиваемого сплава, мм, на основе				Энергия ускоренных электронов, МэВ
железа	титана	алюминия	свинца	
От 50 до 100	От 90 до 190	От 150 до 310	От 30 до 60	6
« 70 « 180	« 130 « 350	« 220 « 570	« 40 « 110	9
« 100 « 220	« 190 « 430	« 330 « 740	« 50 « 110	18
« 130 « 250	« 250 « 490	« 480 « 920	« 60 « 120	25
« 150 « 350	« 290 « 680	« 570 « 1300	« 60 « 150	30
« 150 « 450	« 290 « 880	« 610 « 1800	« 60 « 180	35

При радиографическом методе неразрушающего контроля в зависимости от энергии излучения, требуемой чувствительности и производительности контроля должны быть использованы следующие преобразователи излучения:

– радиографическая пленка без усиливающих экранов;

– радиографическая пленка в различных комбинациях с усиливающими металлическими и флуоресцирующими экранами;

– фотобумага.

Тип радиоактивного источника, напряжение на рентгеновской трубке и энергия ускоренных электронов должны устанавливаться в зависимости от толщины просвечиваемого материала технической документацией на контроль или приемку сварных соединений. В качестве усиливающих экранов при радиографическом контроле должны использоваться металлические и флуоресцирующие экраны. Толщина металлических усиливающих экранов и способы зарядки пленки в кассеты с использованием экранов приведены табл. 2.9.

Существуют различные способы зарядки кассет: без экранов, с усиливающими металлическими экранами, с усиливающими флуоресцирующими экранами, с усиливающими металлическими и флуоресцирующими экранами.

Для определения чувствительности контроля следует применять проволочные, канавочные или пластинчатые эталоны чувствительности.

Форма и размеры канавочных эталонов чувствительности приведены на рис. 2.20 и в табл. 2.10.

Таблица 2.9

Толщина металлических усиливающих экранов

Источник излучения	Толщина экрана, мм
Рентгеновский аппарат с напряжением на рентгеновской трубке до 100 кВ	До 0,02
Рентгеновский аппарат с напряжением на рентгеновской трубке свыше 100 до 300 кВ	0,05 – 0,09
Рентгеновский аппарат с напряжением на рентгеновской трубке свыше 300 кВ	0,09
170 Tm	0,09
75 Se; 192 Jr	0,09 – 0,20
137 Cs	0,20 – 0,30
60 Co	0,30 – 0,50
Ускоритель электронов с энергией излучения от 1 до 15 МэВ	0,50 – 1,00

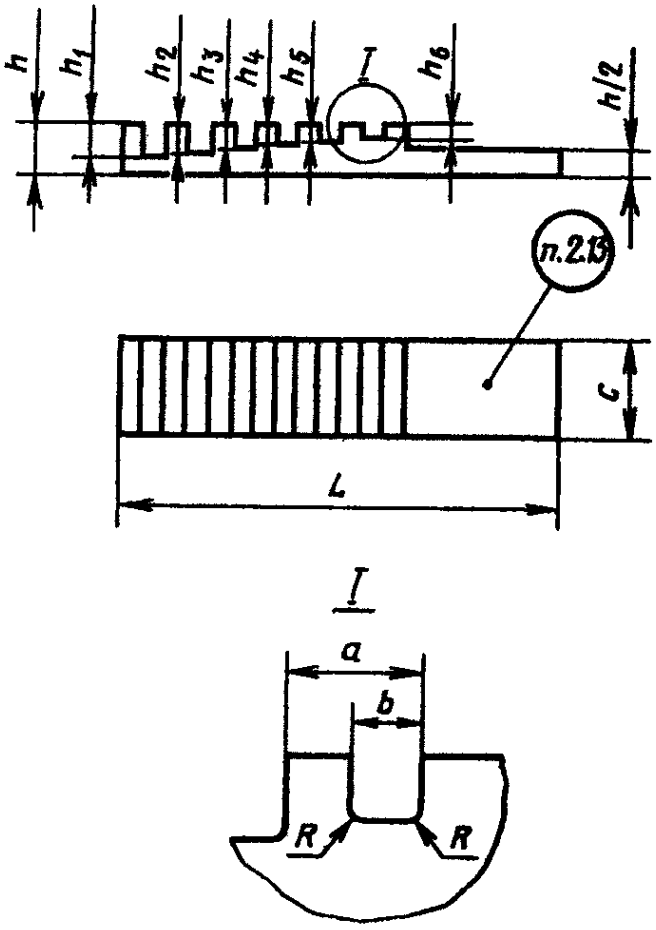


Рис. 2.10. Форма и размеры канавочных эталонов чувствительности

Маркировку эталонов чувствительности проводят свинцовыми цифрами по ГОСТ 15843-79.

При контроле на каждом участке должны быть установлены эталоны чувствительности и маркировочные знаки.

Эталоны чувствительности следует устанавливать на контролируемом участке со стороны, обращенной к источнику излучения. Проволочные эталоны следует устанавливать непосредственно на шов с направлением проволок поперек шва, канавочные эталоны – на расстоянии не менее 5 мм от шва с направлением канавок поперек шва, а пластинчатые – вдоль шва на расстоянии не менее 5 мм от него или непосредственно на шов с направлением эталона поперек шва так, чтобы изображения маркировочных знаков эталона не накладывались на изображение шва на снимке. При невозможности установки эталонов со стороны источника излучения при контроле сварных соединении цилиндрических, сферических и других пустотелых изделий через две стенки с расшифровкой только прилегающего к пленке участка сварного соединения, а также при панорамном просвечивании допускается устанавливать эталоны чувствительности со стороны кассеты с пленкой.

Маркировочные знаки, используемые для ограничения длины контролируемых за одну экспозицию участков сварных соединений, следует устанавливать на границах размеченных участков, а также на границах наплавленного и основного металла при контроле сварных соединений. Маркировочные знаки, используемые для нумерации контролируемых участков, следует устанавливать на контролируемом участке или непосредственно на кассете с пленкой так, чтобы изображения маркировочных знаков на снимках не накладывались на изображение шва и околошовной зоны.

Сварные соединения следует контролировать по схемам контроля, приведенным на рис. 2.21 и 2.22.

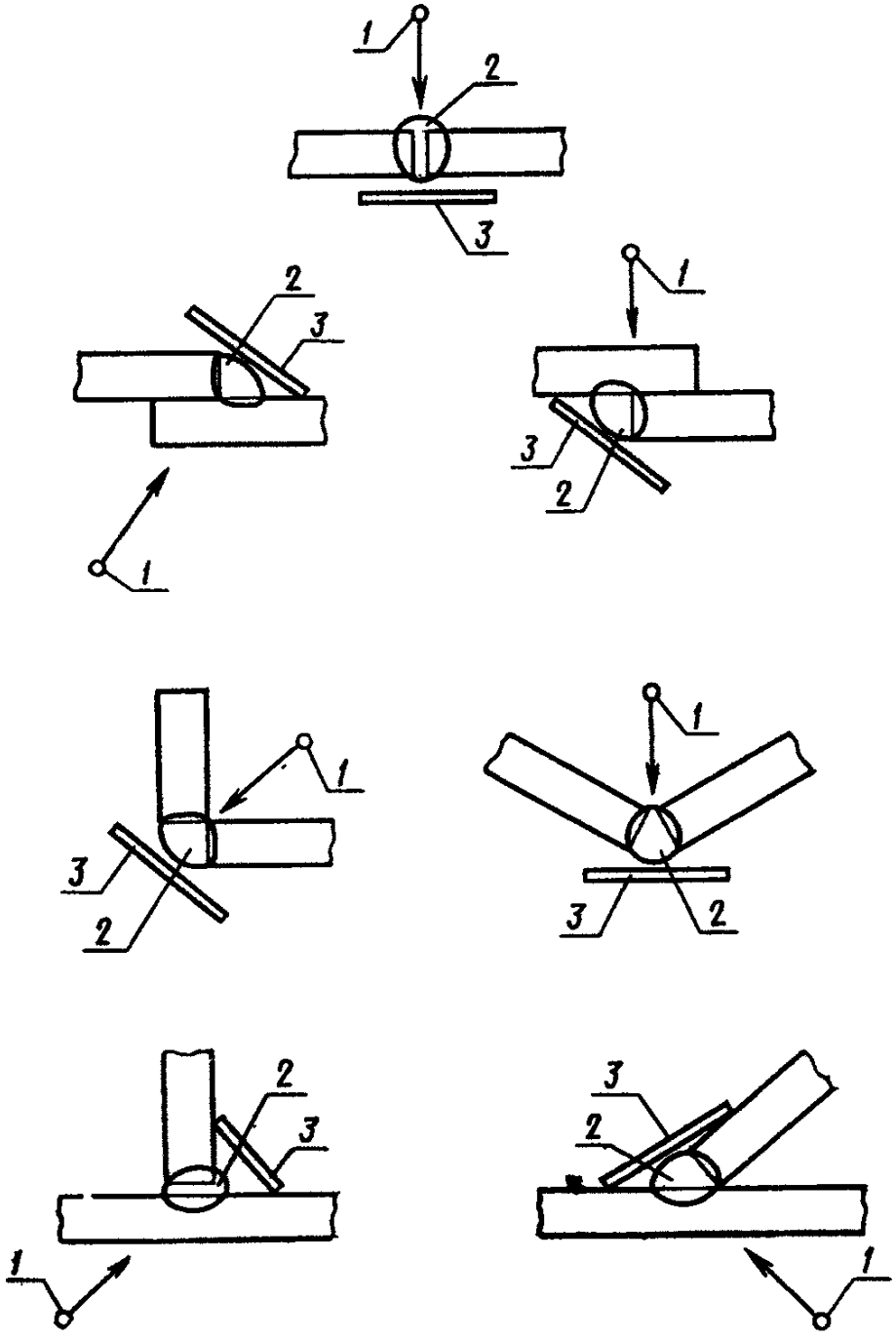


Рис. 2.21. Схемы контроля стыковых, нахлесточных, угловых
и тавровых соединений:
1 – источник излучения; 2 – контролируемый участок; 3 – кассета с пленкой

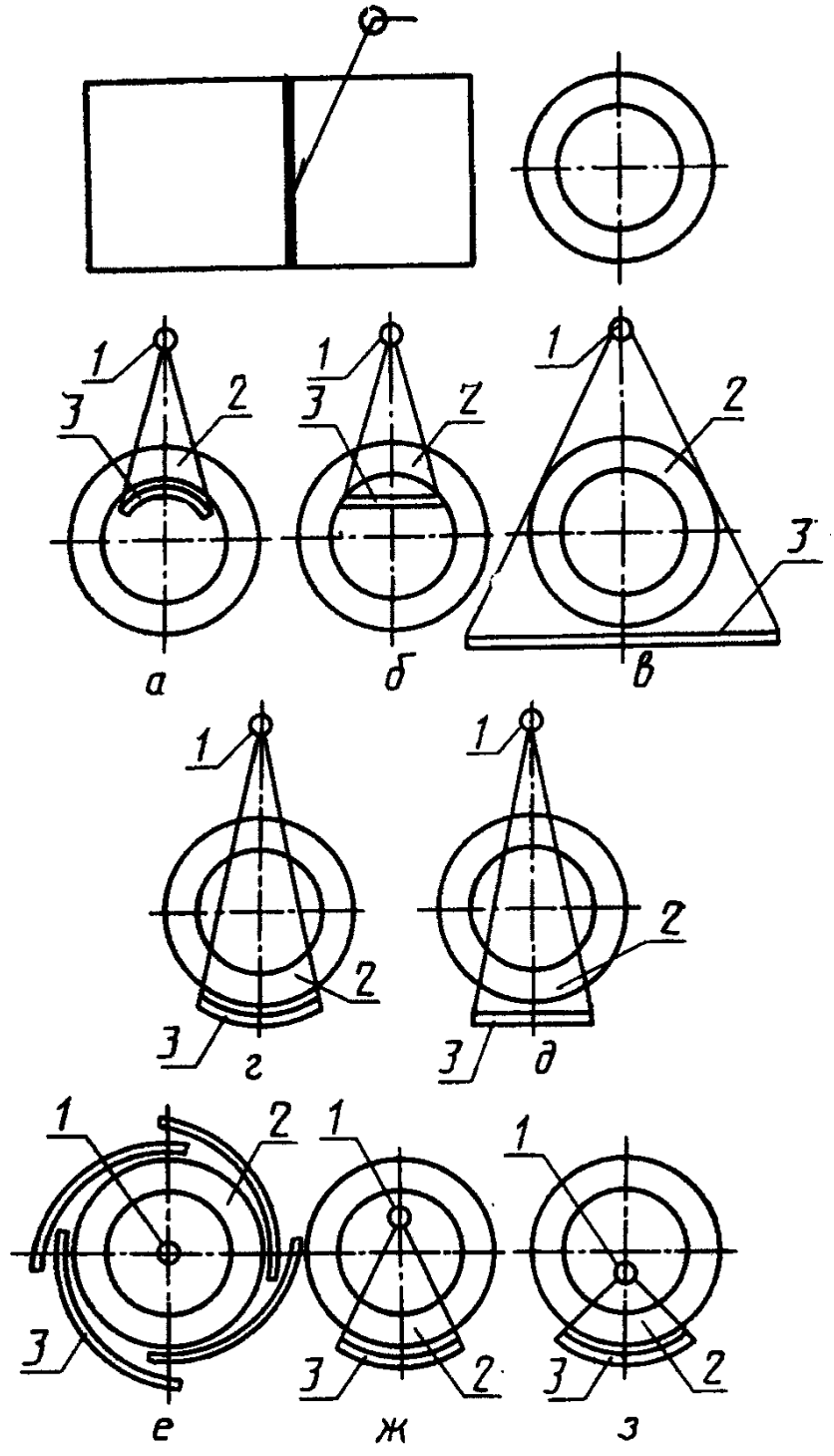


Рис. 2.22. Схемы контроля кольцевых (стыковых, нахлесточных, угловых и тавровых) сварных соединений:
1 – источник излучения; 2 – контролируемый участок;
3 – кассета с пленкой

Таблица 2.10

Номер эталона	Глубина канавок						Предельное отклонение глубины канавок	R, не более	*a*		*b*		*c*		*h*		*L*	
	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6			Номинальное	Предельное отклонение	Номинальное	Предельное отклонение	Номинальное	Предельное отклонение	Номинальное	Предельное отклонение	Номинальное	Предельное отклонение
1	0,60	0,5	0,40	0,3	0,20	0,10	- 0,05	0,1	2,5	+/- 0,30 +/- 0,150	0,5	+0,2; +0,1	10	-0,360	2	-0,100	30	-0,52
2	1,75	1,5	1,25	1,0	0,75	0,50	-0,10	0,2	4,0	+/- 0,40	1,5	+0,3	12	-0,430	4	-0,120	45	-0,62
3	-	-	3,00	2,5	2,0	1,50	-0,25	0,3	6,0	+/- 0,40	3,0	+0,3	14	-0,430	6	-0,120	60	-0,74
	4,00	3,5					- 0,30											

При ограниченной ширине привариваемого элемента допускается проводить контроль тавровых сварных соединений с направлением излучения по образующей этого элемента в соответствии с рис. 2.23.

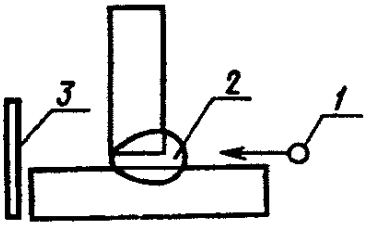


Рис. 2.23. Схема контроля тавровых сварных соединений с направлением излучения по образующей элемента:
1 – источник излучения; 2 – контролируемый участок; 3 – кассета с пленкой

При контроле кольцевых сварных соединений цилиндрических и сферических пустотелых изделий следует использовать схемы просвечивания через одну стенку изделия (схемы рис. 2.22, а, б, е, ж, з).

При контроле стыковых сварных соединений по схемам рис. 2.22, а, б, е, ж, з направление излучения должно совпадать с плоскостью контролируемого сварного соединения. При контроле по этим схемам угловых сварных швов вварки труб, штуцеров и т.п. угол между направлением излучения и плоскостью сварного соединения не должен превышать 45°.

Другие схемы и направления излучения должны быть предусмотрены технической документацией на контроль и приемку сварных соединений.

При выборе схемы и направления излучения следует учитывать:

– расстояние от контролируемого сварного соединения до радиографической пленки должно быть минимальным и в любом случае не превышать 150 мм;

– угол между направлением излучения и нормалью к радиографической пленке в пределах контролируемого за одну экспозицию участка сварного соединения должен быть минимальным и в любом случае не превышать 45°.

Формулы для определения минимальных допустимых расстояний от источника излучения до контролируемого сварного соединения, а также максимальных размеров и минимального количества контролируемых за одну экспозицию участков при контроле по схемам рис. 2.21–2.23, приведены в ГОСТ 7512-82.

После проведения контроля снимки, допущенные к расшифровке, должны удовлетворять требованиям:

– на снимках не должно быть пятен, полос, загрязнений и повреждений эмульсионного слоя, затрудняющих их расшифровку;

– на снимках должны быть видны изображения ограничительных меток, маркировочных знаков и эталонов чувствительности;

– оптическая плотность изображений контролируемого участка шва, околошовной зоны и эталона чувствительности должна быть не менее 1,5;

– уменьшение оптической плотности изображения сварного соединения на любом участке этого изображения по сравнению с оптической плотностью изображения эталона чувствительности не должно превышать 1,0.

При расшифровке снимков определяют размеры изображений трещин, непроваров, пор и включений, а также, при необходимости, оценивают величину вогнутости и выпуклости корня шва (в случаях, когда корень шва недоступен для внешнего осмотра). Перечень подлежащих определению размеров и методика оценки величины вогнутости и выпуклости корня шва должны быть приведены в технической документации на контроль и приемку сварных соединений. При документальном оформлении результатов расшифровки снимков определенные по снимкам размеры следует округлить до ближайших значений из ряда 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 мм или ближайших целых значений в миллиметрах, если определенный по снимку размер превышает 3,0 мм.

Результаты расшифровки снимков контроля должны быть записаны в заключении или журнале регистрации результатов контроля, форма которых должна устанавливаться технической документацией на контроль или приемку сварных соединений.

2.7.2. Электрорадиографический метод

Электрорадиографический контроль применяют для выявления в сварных соединениях трещин, непроваров, пор, шлаковых, вольфрамовых, окисных и других включений, а также для выявления прожогов, подрезов и смещений сваренных кромок, недоступных для внешнего осмотра. При этом контролю подвергают сварные соединения, имеющие двусторонний доступ.

При электрорадиографическом контроле используют электрорадиографическую аппаратуру и пластины. Допускается использовать медицинскую электрорадиографическую аппаратуру и пластины, если они обеспечивают получение требуемой чувствительности контроля. Электрорадиографические пластины должны быть помещены в светонепроницаемые кассеты со съемной шторкой. Для проявления изображения следует использовать черный электрографический тонер.

Перенос тонерного изображения следует осуществлять на бумагу N 0 по ГОСТ 18510, N 1 марки А по ГОСТ 9095, ГОСТ 21444.

Напряжение на рентгеновской трубке следует выбирать в зависимости от толщины и плотности просвечиваемого материала по табл. 2.11.

Таблица 2.11

Область применения электрорадиографического метода дефектоскопии при использовании рентгеновских аппаратов

Толщина просвечиваемого материала, мм							Напряжение на рентгеновской трубке, кВ, не более
Сплав на основе				Неметаллический материал со средним атомным номером (плотность, г/см^3)			
железа	титана	алюминия	магния	14 (1,4)	6,2 (1,4)	5,8 (0,9)	
0,2	0,6	4	7	5	40	60	40
0,4	1,5	6	9	7	50	75	50
0,8	2,4	8	17	14	60	80	60
2	6	15	27	25	90	120	80
4	11	22	40				100
7	18	35	56				120
11	26	52	82				150
18	41	82	124				200
25	52	113	165				250

При электрорадиографическом методе неразрушающего контроля следует использовать электрорадиографические пластины. Перенос изображения на бумагу или другой носитель осуществляют с помощью проявляющего порошка, создающего изображение на электрорадиографической пластине.

Источники излучения должны соответствовать ГОСТ 20426. Тип радиоактивного источника, напряжение на рентгеновской трубке и энергия ускоренных электронов должны устанавливаться в зависимости от радиационной толщины материала в технической документации на контроль или приемку сварных соединений. Для защиты электрорадиографической пластины от обратного рассеянного излучения следует использовать металлические защитные экраны.

Для определения чувствительности контроля следует применять проволочные и канавочные эталоны чувствительности по ГОСТ 7512. При электрорадиографическом контроле следует использовать маркировочные знаки, изготовленные из материала, обеспечивающего получение их четких изображений на снимках.

При проведении контроля на контролируемом участке сварного соединения следует устанавливать два эталона чувствительности:

проволочный эталон непосредственно на шов с направлением проволок поперек шва и канавочный эталон на расстоянии не менее 5 мм от шва с направлением канавок поперек шва. При контроле сварных соединений без выпуклости шва используют два проволочных эталона чувствительности.

Эталоны чувствительности устанавливают на контролируемом участке со стороны, обращенной к источнику излучения: один в средней части контролируемого участка, а другой – у его края.

В случае невозможности установки эталонов чувствительности со стороны источника излучения при контроле сварных соединений цилиндрических, сферических и других пустотелых объектов через две стенки с расшифровкой только прилегающего к кассете участка сварного соединения допускается устанавливать эталоны чувствительности со стороны кассеты с электрорадиографической пластиной.

Порядок установки маркировочных знаков – по ГОСТ 7512.

Все операции электрорадиографического процесса (электризация, проявление, перенос изображения и закрепление снимка) следует выполнять в электрорадиографическом аппарате в соответствии с инструкцией по его эксплуатации.

При проявлении следует получать негативные электрорадиографические снимки. Допускается получать позитивные электрорадиографические снимки в случаях, когда не требуется определять размеры дефектов.

Контроль стыковых, нахлесточных, угловых и тавровых сварных соединений должен выполняться в соответствии со схемами, приведенными на рис. 2.24, 2.25.

При контроле сварных соединений по рис. 2.25 (а, г) направление излучения должно совпадать с плоскостью контролируемого сварного соединения.

При контроле сварных соединений по рис. 2.25 (б, в) направление излучения следует выбирать таким, при котором изображения противолежащих участков не накладываются друг на друга. При этом угол между направлением излучения и плоскостью контролируемого сварного соединения не должен превышать 30°.

Если эти условия невыполнимы, контроль следует проводить по рис. 2.25, б

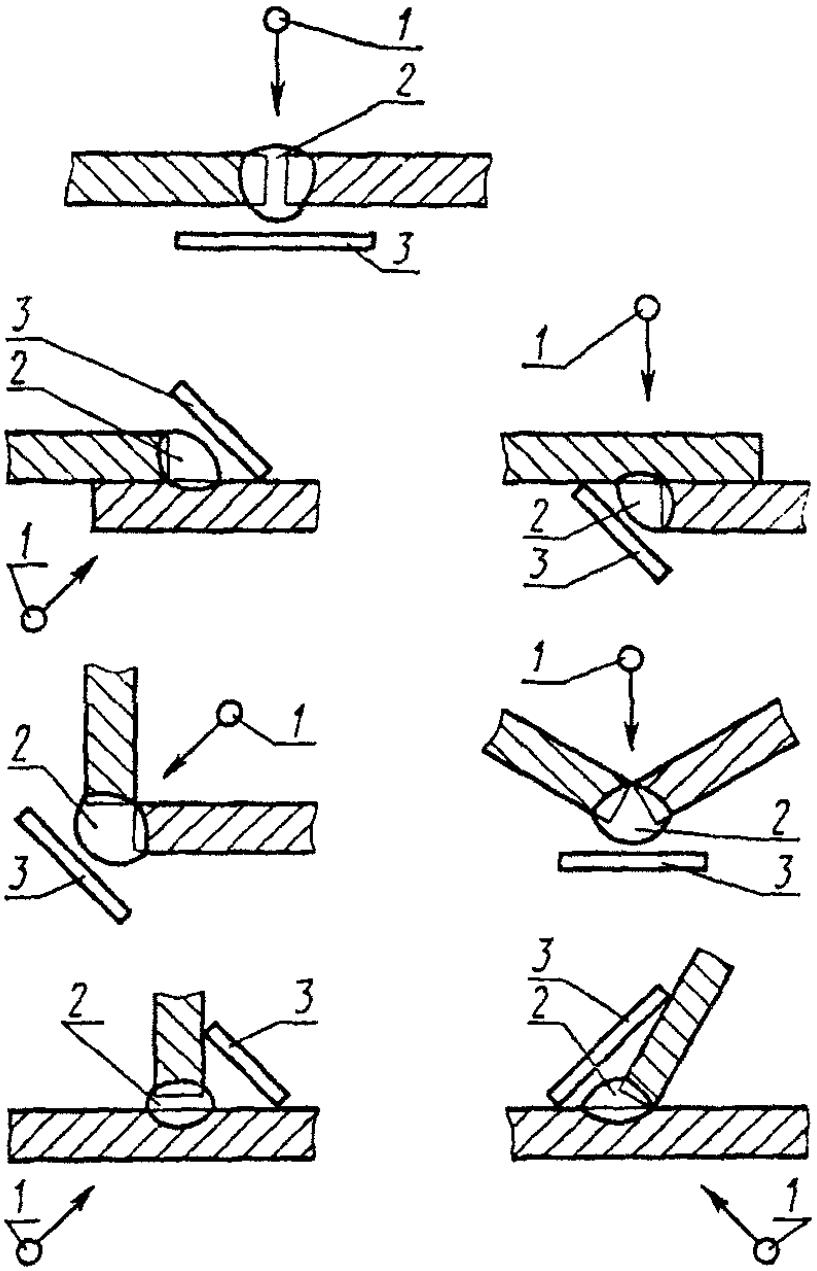


Рис. 2.24. Схемы контроля стыковых, нахлесточных, угловых и тавровых сварных соединений:
1 – источник излучения; 2 – контролируемый участок;
3 – кассета с электрорадиографической пластиной

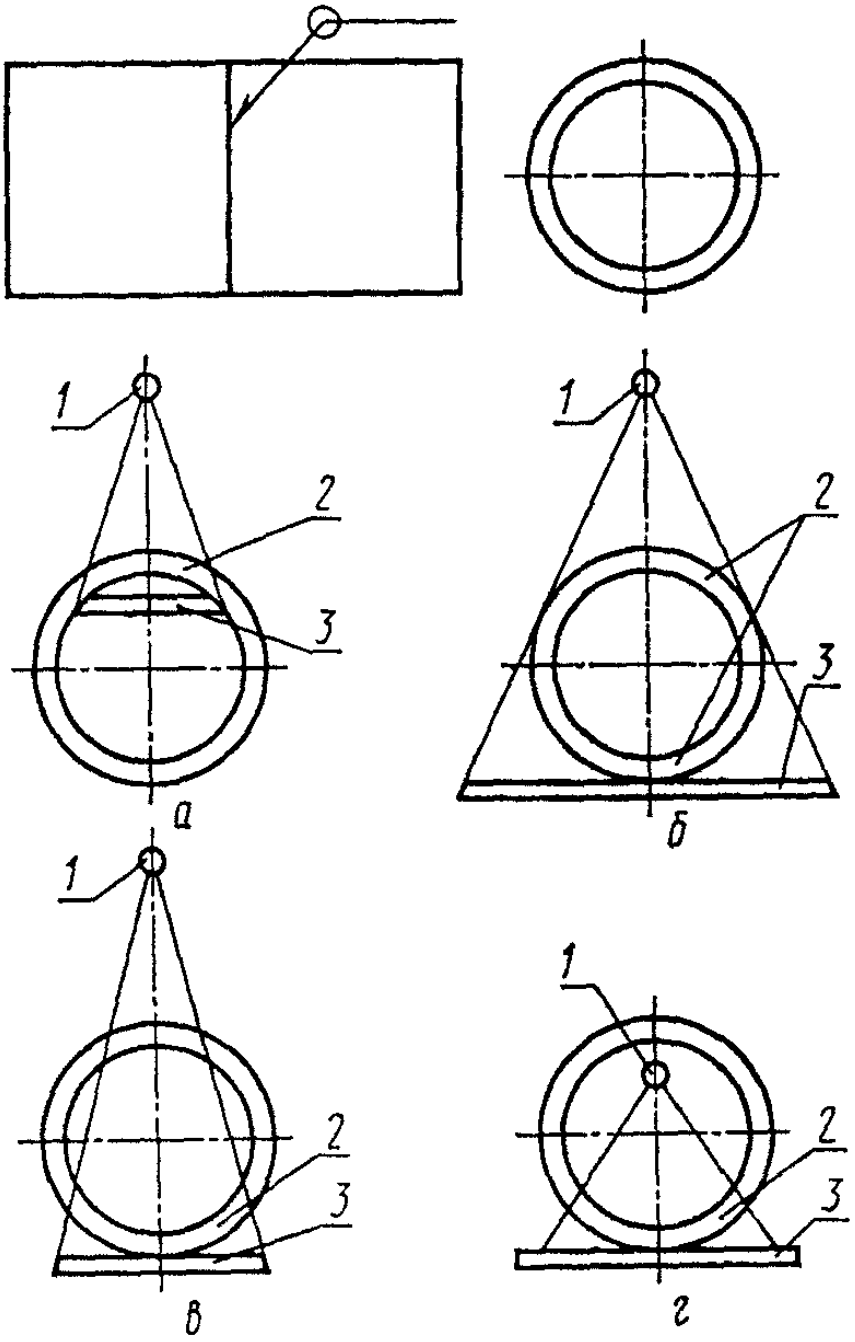


Рис. 2.25. Схемы контроля кольцевых (стыковых, нахлесточных, угловых и тавровых) сварных соединений:
1 – источник излучения; 2 – контролируемый участок;
3 – кассета с электрорадиографической пластиной

Параметры электрорадиографического контроля (допустимую величину геометрической нерезкости и относительного увеличения размеров изображения дефектов, расстояние от источника излучения до контролируемого сварного соединения, размеры участков сварных соединений, контролируемых за одну экспозицию, максимальную длину или минимальное число участков, необходимую длину и ширину снимков) следует определять по ГОСТ 7512, при этом размеры электрорадиографической кассеты должны быть не менее требуемых размеров снимка.

При проведении электрорадиографического контроля должна быть обеспечена безопасность работ. Предприятия и организации, выполняющие работы по электрорадиографическому контролю, должны разработать документацию, определяющую правила и методы безопасной организации работ с учетом условий производства.

2.7.3. Радиоскопический метод

Напряжение на рентгеновской трубке, энергию ускоренных электронов бетатрона, преобразователь излучения следует выбирать в зависимости от толщины и плотности просвечиваемого материала по табл. 2.12.

При радиоскопическом методе неразрушающего контроля необходимо использовать следующие преобразователи излучения:

– флуороскопический экран;

– рентгеновский электронно-оптический преобразователь (РЭОП);

– рентгено-телевизионную установку с флуоресцирующим экраном или сцинтилляционным монокристаллом, или РЭОП, или сцинтилляционным монокристаллом и электронно-оптическим усилителем яркости изображения, или рентгеновидиконом;

– сцинтилляционный монокристалл с электронно-оптическим преобразователем (ЭОП).

Таблица 2.12

Область применения радиоскопического метода

Толщина просвечиваемого материала, мм							Преобразователь излучения при контроле		Источник излучения	Напряжение на рентгеновской трубке и энергия ускоренных электронов
Сплав на основе				Неметаллический материал со средним атомным номером (плотность, г/см^3)			сварных и клепаных соединений и изделий	отливок, паяных и клепаных соединений и изделий		
железа	титана	алюминия	магния	14 (1,4)	6,2 (1,4)	5,5 (0,9)				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
От 1 до 6	От 1 до 8	От 1 до 15	От 1 до 20	От 1 до 17	От 1 до 90	От 1 до 130	Рентгенотелевизионная установка с рентгеновидиконом, РЭОП	Рентгенотелевизионная установка с рентгеновидиконом, РЭОП, флуороскопический экран	Рентгеновские аппараты	10 – 120 кВ
От 4 до 12	От 8 до 25	От 15 до 30	От 20 до 40	От 17 до 25	От 90 до 120	От 130 до 170	РЭОП, рентгенотелевизионная установка со сцинтилляционным монокристаллом или флуоресцирующим экраном	РЭОП, рентгенотелевизионная установка с флуоресцирующим экраном или сцинтилляционным монокристаллом, сцинтилляционный монокристалл с ЭОП		50 – 180 кВ

Окончание табл. 2.12

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
От 12 до 20	От 25 до 40	От 30 до 50	От 40 до 70	-	-	-	Рентгенотелевизионная установка с РЭОП или сцинтилляционным монокристаллом	Рентгенотелевизионная установка с РЭОП, флуоресцирующим экраном или сцинтилляционным монокристаллом		100 - 250 кВ
От 20 до 40	Св. 40	Св. 50	Св. 70	-	-	-	Рентгенотелевизионная установка со сцинтилляционным монокристаллом	Рентгенотелевизионная установка со сцинтилляционным монокристаллом или РЭОП		200 - 300 кВ
От 40 до 60	-	-	-	-	-	-	Рентгенотелевизионная установка со сцинтилляционным монокристаллом и электронно-оптическим усилителем яркости изображения		220 - 400 кВ	
Св. 60	-	-	-	-	-	-	Рентгенотелевизионная установка со сцинтилляционным монокристаллом и электронно-оптическим усилителем яркости изображения	Бетатроны	1000 - 35000 кэВ	

2.7.4. Радиометрический метод

Источники излучения следует выбирать в зависимости от толщины и плотности просвечиваемого материала по табл. 2.13.

Таблица 2.13

Область применения радиометрического метода

Толщина просвечиваемого сплава, мм, на основе			Источник излучения
железа	титана	алюминия	
От 1 до 130	От 2 до 230	От 5 до 370	Рентгеновские аппараты напряжением от 40 до напряжением от 40 до 1000 кВ
От 1 до 150	От 2 до 300	От 5 до 500	Радиоактивные источники из 170 75 192 137 60 Tm, Se, Jr, Cs, Co
Св. 50	Св. 90	Св. 150	Бетатроны с энергией ускоренных электронов от 6 до 35 МэВ

В рентгеновских аппаратах, используемых при радиометрическом методе, необходимо предусмотреть стабилизацию высокого напряжения.

При радиометрическом методе неразрушающего контроля необходимо использовать следующие преобразователи излучения:

– газоразрядный счетчик;

– ионизационную камеру;

– сцинтилляционный счетчик;

– полупроводниковый детектор;

– счетчик Черенкова.

Значения толщин, которые являются промежуточными между значениями, приведенными в табл. 2.9 и 2.11, следует определять методом линейной интерполяции.

Область применения радиационных методов неразрушающего контроля железобетонных изделий и конструкций приведены в ГОСТ 17625 и ГОСТ 17623.

При разрушающем радиационном контроле многобарьерных конструкций, применении компенсаторов и выравнивающих фильтров необходимо учитывать суммарную толщину материала, проходимого излучением при просвечивании. Режимы неразрушающего радиационного контроля конкретного объекта зависят от чувствительности к излучению, контрастной чувствительности и разрешающей способности применяемого преобразователя излучения, интенсивности излучения источника, геометрических параметров схем просвечивания. Эти режимы должны быть оптимальными по чувствительности и производительности контроля.

3. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИСПЫТАНИЙ

3.1. Классификация испытаний

В соответствии с группами внешних воздействующих факторов (механические, климатические, биологические, радиационные, электромагнитные, специальных сред и термические) предусматриваются определенные виды испытаний, проводимых для проверки работоспособности изделий или для определения их способности нормально функционировать после воздействия внешних факторов, а также для проверки способности изделий выдерживать хранение и транспортирование.

Различают также испытания материалов и испытания изделий.

При испытания материалов исследуют:

а) механические свойства;

б) электрические свойства;

в) магнитные свойства

и др.

К испытаниям изделий на воздействие *механических* факторов, в основном, относятся испытания на воздействие:

а) вибрации;

б) механического удара многократного и одиночного действия, удара при падении;

в) линейного ускорения;

г) акустического шума.

К испытаниям изделий на воздействие *климатических* факторов, в основном, относятся испытания на воздействие:

пониженного (повышенного) атмосферного давления;

изменения атмосферного давления;

повышенной (пониженной) температуры внешней среды;

изменения температуры внешней среды;

повышенной (пониженной) влажности;

атмосферных выпадаемых осадков (дождя, снега, мороси, града);

атмосферных конденсированных осадков (росы, инея и т. д.);

соляного (морского) тумана;

солнечного излучения;

статического (или динамического) воздействия пыли (песка);

атмосферы с коррозионно-активными агентами.

Для некоторых изделий, предназначенных для работы в тропических условиях или подвергающихся внешним воздействиям при хранении, представляют интерес испытания на воздействие биологических

факторов, в частности на воздействие плесневых грибов, которых насчитывается порядка 40 000.

К испытаниям изделий на воздействие *ионизирующего* излучения в основном относятся испытания на воздействие:

– радиационной стойкости (ГОСТ 16504-81);
– радиационной устойчивости.

По условиям проведения различают испытания:

натурные;

лабораторные.

По виду воздействия испытания делятся на воздействия:

электромагнитных излучений (рентгеновское и гамма-квантов);

потоков нейтронов;

потоков ионов и протонов.

Виды испытаний для конкретных изделий выбирают из числа перечисленных, исходя из предъявляемых к ним требований, их конструктивного осуществления, технологии изготовления и условий эксплуатации. В зависимости от назначения изделий (производственно-технического, культурно-бытового и т.д.) виды испытаний указывают в стандартах, конструкторской документации, программах и методиках испытаний.

Значительное количество видов испытаний изделий на воздействие механических, климатических, биологических, радиационных и других внешних факторов в лабораторных условиях приводит к необходимости установления способов (последовательности) их проведения. Стандартизировать единую последовательность испытаний для всех изделий практически невозможно. В общем случае последовательность проведения испытаний зависит от стадии жизненного цикла изделия и определяется целью испытаний, назначением изделия, местом его установки и условиями эксплуатации.

Поскольку конкретные изделия, предназначенные для работы в различных климатических районах (с тропическим или холодным климатом), при механических воздействиях в процессах транспортирования или эксплуатации, должны подвергаться большому количеству видов испытаний, то помимо установления, каким видам испытаний должно подвергаться изделие, необходимо решить, каким способом это должно осуществляться.

Введением понятия “способ проведения испытаний” подчеркивается, что не все изделия выборки подвергаются последовательно воздействию различных видов испытаний. Наряду с последовательным способом проведения испытаний может быть и параллельный способ, когда изделия выборки подвергаются одновременно (параллельно)

различным видам испытаний. Возможен и так называемый параллельно-последовательный способ, при котором все виды испытаний разбиваются на определенное число групп, и соответственно на такое же число групп разбивается выборка изделий; группы изделий испытываются параллельно, в то время как в группах испытания изделий проводятся последовательно. И, наконец, возможен способ комбинированных испытаний, при котором испытуемое изделие подвергается одновременно воздействию двух или более определенных внешних факторов.

Последовательный способ проведения испытаний предполагает поочередное раздельное испытание изделий на воздействие внешних факторов при определенной длительности интервала времени между ними.

Важна и последовательность испытаний. На стадии разработки изделия, когда известен наиболее критичный внешний воздействующий фактор, ставится задача получения в первую очередь данных об отказах при испытаниях на его воздействие. Однако после этих испытаний уменьшается способность изделий выдерживать другие виды испытаний. Поэтому для получения возможно большего количества данных о качестве изделий (при их ограниченном числе) полезно начинать с проведения наименее жестких испытаний. В тех случаях, когда результат воздействия одного вида испытаний на изделие зависит от предшествующих условий, в которых оно находилось, необходимо воспроизводить внешние воздействия в определенной последовательности.

На стадии производства изделий целесообразно установление такой последовательности, которая даст наиболее эффективные результаты за счет того, что предшествующие испытания будут создавать предпосылки для отказов при последующих воздействиях. Так, например, если за испытаниями на воздействие быстрой смены температур проводить все или часть предусмотренных механических испытаний, то они будут способствовать выявлению отказов, обусловленных испытаниями на быструю смену температур, а также могут вызывать новые отказы, такие, как трещины, течи и т.д.

Наконец, можно имитировать последовательность воздействия внешних факторов, наиболее часто встречающуюся в условиях эксплуатации. Например, для радиоаппаратуры, Международная электротехническая комиссия (МЭК) рекомендует такой порядок климатических испытаний (“климатическую последовательность”):

1) воздействие повышенной температуры среды;

2) воздействие повышенной влажности воздуха в циклическом режиме;

3) воздействие пониженной температуры среды;

4) воздействие пониженного атмосферного давления;

5) и вновь воздействие повышенной влажности в циклическом режиме.

Установление единой последовательности проведения испытаний для различных изделий вряд ли возможно.

Недостатками данного способа проведения испытаний являются большая продолжительность, трудность определения причин отказов вследствие накопления в изделиях необратимых изменений после последовательного проведения ряда видов испытаний, а также несоответствие реальным условиям эксплуатации и т.д.

Параллельный способ проведения испытаний предполагает, что различным видам испытаний одновременно (параллельно) подвергают определенное число испытуемых изделий. В данном случае за кратчайший интервал времени и с минимальным изнашиванием изделий можно определить их свойства при конкретном внешнем воздействии и в случае отказов принять соответствующие меры. Такой способ может быть применен на стадии разработки изделия. Основными недостатками способа являются: потребность в большом количестве средств испытаний и несоответствие реальным условиям эксплуатации.

Параллельно-последовательный способ испытаний, предполагающий наличие ряда параллельно испытуемых групп, в которых изделия испытываются последовательно, основан на том, что изделия в разных группах подвергаются различным видам испытаний. При объединении видов испытаний изделий в группы руководствуются следующими соображениями: в одну группу включают виды испытаний, предусмотренные “климатической последовательностью”, дополняя их некоторыми видами механических испытаний, а в другие группы могут быть включены испытания на воздействие акустических шумов, длительное испытание на воздействие повышенной влажности воздуха, испытания на воздействие солнечного излучения, соляного тумана, плесневых грибов и т.д. Испытания на воздействия соляного тумана и плесневых грибов рекомендуется проводить на отдельных выборках для каждого вида.

Способ комбинированных испытаний наиболее близок к условиям реальной эксплуатации. Однако он отличается от них тем, что комбинация воздействия внешних факторов и значения характеризующих их параметров предопределены технической документацией, а не являются случайными. Осуществление комбинированных испытаний требует применения специального испытательного оборудования с

большой степенью автоматизации. Комбинированные испытания целесообразно осуществлять на заключительных этапах исследований и проектирования в целях определения возможности предъявления опытных образцов (партии) на приемочные испытания, а также на стадии производства и целях определения возможности их применения. Внедрение комбинированных испытаний на стадии производства позволяет сократить общую продолжительность испытаний, повысить качество изделий. Недостатками комбинированных испытаний являются высокая стоимость испытательного оборудования и усложнение анализа причин отказов изделий.

Классификация испытаний по основным признакам видов. Для оценки качественных свойств и количественных значений параметров изделий на стадиях разработки, производства и эксплуатации широкое применение получили различные виды испытаний.

В зависимости от общих признаков основные виды испытаний можно классифицировать по следующим группам:

– по виду воздействия внешних факторов;
– по назначению или цели;
– по условиям и месту проведения;
– по принципу осуществления;
– по продолжительности и значениям воздействующих нагрузок;
– по степени или результату воздействия;
– по определяемым характеристикам изделия;
– по стадиям жизненного цикла изделия.

Классификация испытаний по назначению или по цели проведения включает в себя следующие виды:

• исследовательские;
• контрольные;
• сравнительные;
• определительные.

Исследовательские испытания проводятся на стадии разработки для получения информации о показателях качества функционирования испытуемых изделий в условиях воздействия различных внешних факторов, определения из них наиболее сильно влияющих на показатели качества, а также выбора наилучших режимов применения изделия. При этом проводятся сравнения ряда возможных вариантов реализации изделия, выбор вида или построение его математической модели функционирования при различные внешних воздействиях. Исследовательские испытания могут осуществляться в целях выбора оптимальных способов хранения и транспортирования изделий. Исследовательские испытания на стадии производства могут проводиться

для оценки уровня качества изделий при решении вопроса о выдаче сертификата.

Исследовательские аттестационные испытания могут быть сравнительными и определительными.

Сравнительные испытания проводятся в идентичных условиях для сравнения характеристик качества аналогичных или одинаковых изделий.

Назначением *определительных испытаний* является определение значений характеристик изделий с заданными значениями показателей точности и (или) достоверности.

К исследовательским могут быть отнесены граничные и технологические испытания.

Граничные испытания проводятся для выявления областей работоспособности изделий при воздействии определенных внешних факторов. Границами областей работоспособности являются предельно допустимые значения параметров изделий.

Технологические испытания служат для оценки влияния процессов изготовления изделий (или входящих в них узлов и деталей) на их качество.

Контрольные испытания проводятся на всех стадиях жизненного цикла изделия для контроля его качества. По результатам контрольных испытаний могут приниматься решения о запуске вновь разработанных изделий в производство, о возможности приемки выпускаемых изделий или их эксплуатации.

Классификация испытаний по условиям и месту проведения предусматривает два основных вида испытаний:

- эксплуатационные;
- лабораторные.

Особенностью *эксплуатационных испытаний* является одновременное воздействие различных внешних и внутренних факторов, характеризуемых случайными их сочетаниями и значениями параметров, изменяющимися во времени. Однако осуществление эксплуатационных испытаний в ряде случаев технически трудно выполнимо, а иногда и нецелесообразно по следующим причинам: не все интересующие нас параметры могут быть измерены; точность и полнота информации оказываются недостаточными вследствие невозможности использования точных средств измерений; получаемая информация может относиться к морально устаревшим изделиям; осуществление испытаний на начальных этапах разработки практически невозможно. Эксплуатационные испытания являются по существу опытной эксплуатацией. Иногда для некоторых изделий осуществляют *подконтрольную экс-*

плуатацию. В этом случае в процессе испытаний применяют специальные средства измерения, эксплуатируемые обслуживающим персоналом, и руководствуются специальной документацией, предназначенной для сбора, учета и первичной обработки информации, получаемой в процессе подконтрольной эксплуатации.

В отличие от эксплуатационных, *лабораторные испытания* характеризуются тем, что они осуществляются в лабораторных условиях, когда на изделие воздействуют определенные внешние факторы, характеризуемые заданными значениями параметров. При этом изделие подвергается воздействию ограниченного числа внешних факторов, находящихся в определенных соотношениях. Часто в процессе лабораторных испытаний изделие подвергается более интенсивному воздействию, чем при реальной эксплуатации. Это позволяет сократить время испытаний и выдать ускоренную оценку качества изделия. Однако эти испытания весьма условны, так как в большинстве случаев не установлено соответствие между лабораторными и эксплуатационными воздействиями. Таким образом, результаты, получаемые при лабораторных испытаниях, могут отличаться от результатов, получаемых в процессе эксплуатации.

Помимо указанных видов испытаний находит применение и ряд других, сочетающих в себе их особенности. К таким испытаниям в первую очередь следует отнести *натурные испытания,* при которых изделия находятся в условиях, соответствующих их использованию по прямому назначению.

Отличия натурных испытаний от эксплуатационных заключаются в том, что, во-первых, при натурных испытаниях испытуемое изделие, находясь в естественных условиях эксплуатации, может не устанавливаться на объект, в комплекте с которым оно должно использоваться и взаимодействовать в процессе эксплуатации; во-вторых, при натурных испытаниях может имитироваться работа изделия при сохранении всех внешних воздействующих факторов.

Кроме того, возможно проведение испытаний на испытательном полигоне, т.е. на территории, специально оснащенной испытательными сооружениями, средствами измерения и обработки результатов испытаний. Такие испытания, называемые *полигонными,* осуществляются при внешних воздействиях, в значительной степени приближенных к эксплуатационным.

Некоторой разновидностью лабораторных испытаний являются *стендовые испытания,* которые проводятся как с применением универсального испытательного оборудования и средств измерения значений параметров испытуемого изделия, смонтированных в единую ком-

плексную систему, называемую испытательным стендом, так и с применением специальных стендов для испытаний конкретных изделий.

Классификация испытаний по принципу осуществления предусматривает деление на:

• физические испытания;

• испытания с использованием математических, физических и физико-математических моделей объектов испытаний (ОИ), позволяющих осуществлять испытания методами моделирования.

Все рассмотренные выше испытания принято по принципу их осуществления называть *физическими,* поскольку они требуют наличия макетов, опытных образцов или готовых изделий для испытаний, а также применения специального дорогого испытательного оборудования и средств измерений. Кроме того, проведение указанных испытаний требует больших затрат времени и работы высококвалифицированного обслуживающего персонала.

Моделирование тесно связано с физическими испытаниями (лабораторными, эксплуатационными и т.д.). Оно основывается на априорной информации, полученной из анализа теоретических данных об ОИ, и на экспериментальных исследованиях аналогичных объектов или их прообразов. Важным является определение степени соответствия моделируемого объекта реальному образцу, что может быть установлено по результатам физических испытаний.

Математическое моделирование основано на построении и изучении математических моделей, которые представляют собой математическое описание физических процессов, происходящих в ОИ при воздействии на него внешних факторов или при его работе в нормальных условиях. Математические модели исследуются аналитическими методами или методами с применением ЭВМ. Исследование модели численными методами путем решения задачи на ЭВМ связано с проигрыванием как вариантов взаимодействия изделия с внешней средой, так и вариантов его работы.

Математическое моделирование испытаний изделий позволяет решать вопросы оптимизации режимов работы, обеспечивающих получение заданных значений выходных параметров (характеристик) изделий при воздействии внешних факторов, а также помогает выявлять возможности изделий при ужесточении внешних воздействующих факторов вплоть до аварийных ситуаций.

Физическое моделирование предусматривает воспроизведение процессов, происходящих в исследуемых ОИ, при условии сохранения их физической природы или при использовании подобных физических явлений. Физическое моделирование целесообразно применять, когда

экспериментальное определение значений параметров ОИ сопряжено с значительными трудностями и затратами, а математическое моделирование невозможно из-за отсутствия моделей, описывающих с достаточной точностью процессы в ОИ.

Очевидно, что основными источниками необходимой информации для моделирования испытаний являются результаты лабораторных и натурных испытаний изделий, похожих на испытуемые, а также априорная информация, полученная в процессе теоретических разработок.

Возможно осуществление так называемого физико-математического (смешанного) моделирования, при котором применяют одновременно физические и математические модели.

Моделирование испытаний целесообразно применять на стадии разработки изделий, а также в процессе их усовершенствования.

Классификация испытаний по продолжительности воздействия и значениям воздействующих нагрузок предусматривает:

- нормальные;
- ускоренные;
- сокращенные лабораторные испытания.

Нормальные лабораторные испытания проводятся в течение срока, установленного технической документацией, при воздействии одного или нескольких внешних факторов, соответствующих условиям реальной эксплуатации. Установление продолжительности механических, климатических и других определенных видов испытаний может проводиться в зависимости от длительности реальной эксплуатации, однако она не должна быть меньше длительности процесса установления стационарного режима работы изделия.

Ускоренные испытания обеспечивают получение необходимого объема информации за более короткий срок, чем при нормальных испытаниях. Ускорение процесса испытаний достигается за счет ужесточения испытательных режимов (повышения температуры, увеличения влажности и т.д.), а также форсирования режимов работы испытуемого изделия. При осуществлении жестких условий испытаний необходимо, чтобы значения параметров испытательных режимов не превышали предельные нормы. Основная трудность в оценке результатов ускоренных испытаний заключается в установлении соответствия между значениями параметров, характеризующих более жесткие испытательные режимы при меньшей продолжительности с нормальными режимами и продолжительностью. При этом представляет интерес установление соответствия распределения отказов при ускоренных испытаниях законам нормальной эксплуатации.

Сокращенными называются лабораторные испытания, проводимые по сокращенной программе.

Классификация испытаний по степени или результату воздействия предусматривает:

- неразрушающие;
- разрушающие испытания.

Неразрушающими называют такие испытания, после проведения которых параметры и свойства объекта не ухудшаются и он может использоваться по прямому назначению. При *разрушающих* испытаниях (проводимых по полной программе) в испытуемом объекте возникают необратимые изменения, приводящие к ухудшению значений его параметров и ускоряющие возможность появления постепенных случайных отказов.

Если испытания продолжаются до момента достижения разрушения испытуемого изделия или до момента, когда значения его параметров выходят за установленные пределы, их называют *испытаниями на прочность*. При этом виде испытаний воздействие внешних факторов увеличивается постепенно до момента возникновения отказа испытуемого изделия. Значения воздействующего фактора фиксируются как в процессе их увеличения, так и в момент возникновения отказа. Очевидно, что если изделие подвергается комплексу различных видов испытаний на воздействие внешних факторов, то в нем возникают необратимые изменения, увеличивающие вероятность отказов и существенно сокращающие технический ресурс его работы. Поэтому комплекс испытаний на воздействия внешних факторов следует рассматривать как разрушающее воздействие.

К неразрушающим испытаниям можно отнести, с некоторыми ограничениями, испытания объектов на воздействие ряда видов электромагнитных внешних факторов.

Классификация испытаний по стадиям жизненного цикла исходит из установления определенных видов испытаний, проводимых в целях проверки соответствия изделий предъявляемым к ним требованиям.

Для контроля качества и приемки изготовленной продукции устанавливают следующие основные категории испытаний:

– приемо-сдаточные;

– периодические.

Приемо-сдаточные и периодические испытания в совокупности должны обеспечивать достоверную проверку всех свойств выпускаемой продукции, подлежащих контролю на соответствие требованиям стандартов, и представлять собой элементы приемки продукции у изготовителя (поставщика).

Приемка продукции. Приемку продукции, изготовленной для ее поставки заказчику (потребителю) и (или) непосредственной продажи (реализации) покупателю, проводит ОТК. Если условиями контрактов (договоров) между заказчиком (потребителем) и изготовителем (поставщиком) определено, что приемку продукции следует осуществлять независимому от последнего органу приемки (представительству заказчика или потребителя), то испытания и приемку проводят указанные представительства в присутствии ОТК силами и средствами изготовителя (поставщика). При этом все особенности и форму участия сторон в проведении приемки продукции, не отраженные в настоящем стандарте, определяют в договорах (контрактах), стандартах или ТУ.

Процесс приемки продукции, в зависимости от специфики выполняемых работ, может быть совмещен с проведением приемо-сдаточных испытаний в один общий этап либо осуществлен в виде самостоятельных этапов, проводящихся в следующей последовательности: приемо-сдаточные испытания, окончательная приемка продукции, что отражают в стандартах на продукцию.

Приемке продукции, выпуск которой предприятием-изготовителем начат впервые, должны предшествовать квалификационные испытания, проводимые по ГОСТ 15.001.

Приемо-сдаточные испытания. Приемо-сдаточные испытания проводят с целью контроля соответствия продукции требованиям стандартов, установленным для данной категории испытаний, а также контрольному образцу или образцу-эталону (если они предусмотрены в стандартах) для определения возможности приемки продукции. Приемо-сдаточные испытания проводит ОТК в объеме и последовательности, которые установлены в стандартах на продукцию для данной категории испытаний.

Квалификационные испытания носят статус периодических испытаний при приемке продукции вплоть до получения результатов очередных периодических испытаний.

Приемо-сдаточные испытания проводят с применением сплошного или выборочного контроля в соответствии со стандартами на продукцию. На приемо-сдаточные испытания (приемку) предъявляют единицы, партии, комплекты продукции, выдержавшие предъявительские испытания и (или) производственный контроль, предусматриваемые технологическим процессом изготовления и оговоренные в технологической документации. Число одновременно предъявляемых единиц (партий) продукции устанавливают в стандартах на продукцию и (или) в документации изготовителя (поставщика).

Результаты приемо-сдаточных испытаний оформляют протоколом испытаний.

Периодические испытания. Периодические испытания проводят для периодического подтверждения качества продукции и стабильности технологического процесса в установленный период с целью подтверждения возможности продолжения изготовления продукции по действующей конструкторской и технологической документации и продолжения ее приемки.

Периодические испытания проводит изготовитель (поставщик) с привлечением, при необходимости, других заинтересованных сторон, в том числе представителей потребителя (заказчика), органов приемки (при их наличии у изготовителя). Периодические испытания может проводить другая (сторонняя) организация по договоренности с ней изготовителя (поставщика), если в контракте (договоре) с заказчиком (потребителем) продукции не предусматривается иное.

Если продукция по своим свойствам подлежит периодическому контролю со стороны органов, осуществляющих государственный надзор за безопасностью продукции, охраной здоровья и охраной окружающей среды, то периодические испытания следует осуществлять при их участии и под их контролем.

Периодические испытания проводят в объеме и последовательности, которые установлены в стандартах на продукцию для данной категории испытаний. Периодичность испытаний устанавливают в стандартах или договорах на поставку. Периодичность может быть задана:

– по времени;

– по количеству изготовленной продукции (образцов или партий);

– для контролируемой партии продукции (которая может формироваться из отдельных производственных партий, выдержавших приемо-сдаточные испытания).

Типовые испытания продукции. Типовые испытания продукции проводят с целью оценки эффективности и целесообразности предлагаемых изменений в конструкции или технологии изготовления, которые могут повлиять на технические характеристики продукции, связанные с безопасностью для жизни, здоровья или имущества граждан, либо могут повлиять на эксплуатацию продукции, в том числе на важнейшие потребительские свойства продукции или на соблюдение условий охраны окружающей среды.

Типовые испытания проводят по программе и методикам, которые в основном должны содержать:

– необходимые проверки из состава приемосдаточных и периодических испытаний;

– требования по количеству образцов, необходимых для проведения типовых испытаний;

– указание об использовании образцов, подвергнутых типовым испытаниям.

В программу типовых испытаний, при необходимости, могут быть включены также специальные испытания (например, сравнительные испытания образцов продукции, изготовленных без учета и с учетом предлагаемых изменений, а также испытания из состава проводившихся испытаний опытных образцов продукции или испытаний, проводившихся при постановке продукции на производство).

Программу и методики типовых испытаний разрабатывает изготовитель (поставщик) продукции. Типовые испытания проводят на образцах продукции, изготовленных с внесением в конструкцию, рецептуру или технологию изготовления предлагаемых изменений.

Если эффективность и целесообразность предлагаемых изменений конструкции (рецептуры, технологии изготовления) подтверждена положительными результатами типовых испытаний, то эти изменения вносят в документацию на продукцию в соответствии с установленным порядком.

Если эффективность и целесообразность предлагаемых изменений не подтверждена положительными результатами типовых испытаний, то эти изменения в соответствующую утвержденную и действующую документацию на продукцию не вносят и принимают решение по использованию образцов продукции, изготовленных для проведения типовых испытаний (в соответствии с требованиями программы испытаний).

Результаты типовых испытаний оформляют актом и протоколами типовых испытаний с отражением всех результатов.

Развитие международной торговли и стремление к конкурентоспособности изделий привели к необходимости установления соответствия значений параметров изделий не только национальным, но и международным НТД. С этой целью введена *система сертификации,* предусматривающая действие третьей стороны (первая сторона – поставщик, вторая сторона – покупатель), доказывающее, что обеспечивается необходимая уверенность в том, что должным образом идентифицированная продукция соответствует конкретному стандарту или другому нормативному документу. Третьей стороной является орган, признаваемый независимым от участвующих в рассматриваемом вопросе.

Главным элементом идентификации продукции являются *сертификационные испытания,* которые могут проводиться указанным выше

органом или осуществляться другими органами по его поручению при надзоре за их деятельностью. *Сертификация* может осуществляться в масштабе страны (государства) и в рамках международного сообщества.

Функциональные испытания проводятся для определения значений показателей назначения изделия, т.е. его технических характеристик.

Испытания на надежность предусматривают определение значений показателей свойств безотказности, долговечности, ремонтопригодности, сохраняемости и транспортабельности. Испытания изделий для определения показателей надежности могут быть определительными и контрольными. Определительные испытания изделий на надежность проводят для выявления соответствия фактических показателей надежности изделий требованиям НТД или внесения их значений в НТД; контрольные испытания изделий на надежность проводят для установления соответствия значений показателей надежности установленным требованиям.

Испытания на безопасность проводят в целях проверки качества конструкции и изготовления изделия, обеспечивающего для потребителя его безопасную работу даже в случаях небрежного с ним обращения. При этом должна обеспечиваться защита потребителя от поражения электрическим током; воздействия высоких температур, приводящих к самовозгоранию; воздействия рентгеновского излучения или взрыва (при наличии в изделии электронно-лучевых трубок); последствий механической неустойчивости изделия, вызванной наличием в нем движущихся частей, и т.д. Испытания изделия должны проводиться, как в нормальных условиях, так и в условиях возникновения неисправности

3.2. Организация испытаний

Средства испытаний включают испытательное оборудование, средства измерений и другие технические средства, необходимые для проведения испытаний, например стенды.

Испытательным стендом называется комплексная единая система, объединяющая в себе универсальное испытательное оборудование и средства измерения параметров испытуемого изделия.

Испытательный стенд может быть предназначен для испытаний изделий какого-либо одного типа или различных типов, близких по конструктивному оформлению и по входным и выходным параметрам. Желательно, чтобы испытательные стенды обеспечивали автомати-

зацию процесса управления испытаниями (САР), съема и регистрации всей необходимой информации.

Применяемые средства испытаний должны обеспечивать их проведение в соответствии с требованиями ТУ и программы испытаний (ПИ).

Испытательное оборудование должно давать возможность:

• установления заданных испытательных режимов, их ручное и автоматическое регулирование;

• задание и поддержание характеристик условий испытаний, значений параметров в допустимых пределах с соблюдением норм точности их воспроизведения.

Необходимо, чтобы оборудование позволяло вести автоматическую запись и программное управление режимами испытаний, а также вести учет времени наработки.

Оборудование должно иметь электровводы, обеспечивающие подачу питающих напряжений и испытательных сигналов на испытуемые изделия, а также измерение значений их параметров. При необходимости должна быть предусмотрена возможность дистанционного измерения значений параметров используемых изделий и режимов испытательного оборудования. Уровни электрических и магнитных помех, а также уровень акустических шумов, создаваемых оборудованием, должны быть минимальными и не превышать санитарно-технические нормы.

В оборудовании необходимо предусмотреть световую или звуковую сигнализацию его исправности и предельную аварийную сигнализацию его отключения.

Применяемые средства измерений должны удовлетворять требованиям к измерениям всех значений параметров режимов испытательного оборудования и испытуемых изделий. Все средства испытаний и измерений должны быть аттестованы.

Если в процессе испытаний предполагается расходование каких-либо материалов, то должны быть указаны нормы их расхода.

Все средства испытаний должны быть снабжены следующей эксплуатационно-технической документацией:

а) техническим описанием;

б) инструкцией по эксплуатации;

в) формуляром;

г) паспортом;

д) монтажными и сборочными чертежами, правилами установки и т.д.

Процесс проведения испытаний должен предусматривать: порядок отбора, подготовки и хранения изделий для испытаний; совокупность

технических характеристик режимов испытаний, допустимых пределов их значений и норм точности воспроизведения; допустимые пределы значений характеристик свойств испытуемых изделий; последовательность операций и их описание; критерии прекращения испытаний.

Ниже приводится возможный алгоритм испытаний.

Первая операция – предварительная выдержка, предназначенная для достижения изделием определенного стационарного состояния за счет нахождения его в нормальных климатических условиях. При этом устраняется или частично нейтрализуется воздействие предыдущих условий на изделие. Выдержка проводится в течение времени, предусмотренном в ТУ или ПИ.

Вторая операция – предварительные измерения значений параметров изделия для установления его работоспособности.

Третья операция – установка изделия для испытаний.

Четвертая операция – первоначальные измерения значений параметров изделия, определяющих его состояние до воздействия внешних факторов.

Пятая операция – выдержка изделия при воздействии внешних факторов для определения их влияния. Продолжительность выдержки отсчитывается с момента времени достижения установившегося режима. Шестая операция – измерение значений параметров испытуемых изделий в процессе испытаний (в зависимости от требований ТУ или ПИ эта операция в некоторых случаях может не выполняться).

Седьмая операция – восстановление, т.е. выдержка изделия при отсутствии воздействия внешних факторов для стабилизации свойств изделия перед заключительными измерениями.

Восьмая операция – заключительные измерения в целях установления влияния на изделие внешних воздействующих факторов.

3.3. Виды испытаний

3.3.1. Факторы, воздействующие на объект

Качество изделий закладывается на стадии разработки, обеспечивается в процессе производства и поддерживается на стадии эксплуатации. Разрабатывая изделия, необходимо учитывать условия их эксплуатации, хранения и транспортирования, характеризующиеся воздействием внешних и внутренних факторов.

К внешним факторам относятся: действие окружающей среды и особенности эксплуатации, связанные с местом установки изделия и (или) условиями его транспортирования. Указанные внешние воздей-

ствия могут вызвать ограничение или потерю работоспособности изделия или его составных частей в процессе эксплуатации.

ГОСТ 21964 -76 делит все внешние воздействующие факторы (ВВФ) на следующие классы:

механические;

климатические;

биологические;

радиационные;

специальных сред;

термические.

В свою очередь, каждый класс подразделяется на группы, а каждая группа на виды, которым соответствуют определенные типы испытаний. Например, класс климатических воздействий делится на группы:

атмосферное давление;

температура среды;

влажность воздуха или других газов и т. д.

Эти группы, в свою очередь, подразделяются на следующие виды:

атмосферное (повышенное) пониженное давление;

изменение атмосферного давления; или

повышенная (пониженная) температура среды;

изменение температуры среды и т. д.

Освоение космоса привело к необходимости выделения еще одного класса (не предусмотренного стандартами), в который вошли все виды так называемых космических воздействий.

Наиболее часто на изделия воздействуют следующие виды энергии:

тепловая;

электрическая;

электромагнитная;

механическая;

химическая.

Под действием энергии одного или нескольких видов в изделиях возникают физико-химические процессы, которые могут приводить к отказам.

Наиболее распространены следующие причины возникновения отказов:

тепловое разрушение (потеря тепловой устойчивости, перегорание, расплавление и т.д.);

деформация и механическое разрушение (нарушение контактов, обрывы и короткие замыкания, нарушение механических фиксаций и т.д.);

электрическое разрушение (пробой, нарушение электрической прочности и т.д.);

электрохимическая коррозия;

радиационное разрушение;

изнашивание изделий;

загрязнение поверхностей деталей и изделий (нарушение контактов, ухудшение зрительного восприятия информации и т.д.).

В соответствии с группами внешних воздействующих факторов (механические, климатические, биологические, радиационные, электромагнитные, специальных сред и термические) предусматриваются определенные виды испытаний, проводимых для проверки работоспособности изделий или для определения их способности нормально функционировать после воздействия внешних факторов, а также для проверки способности изделий выдерживать хранение и транспортирование.

Различают также испытания материалов и испытания изделий.

При испытания материалов исследуют:

а) механические свойства;

б) электрические свойства;

в) магнитные свойства и др.

К испытаниям изделий на воздействие *механических* факторов, в основном, относятся испытания на воздействие:

а) вибрации;

б) механического удара многократного и одиночного действия, удара при падении;

в) линейного ускорения;

г) акустического шума.

К испытаниям изделий на воздействие *климатических* факторов, в основном, относятся испытания на воздействие:

пониженного (повышенного) атмосферного давления;

изменения атмосферного давления;

повышенной (пониженной) температуры внешней среды;

изменения температуры внешней среды;

повышенной (пониженной) влажности;

атмосферных выпадаемых осадков (дождя, снега, мороси, града);

атмосферных конденсированных осадков (росы, инея и т. д.);

соляного (морского) тумана;

солнечного излучения;

статического (или динамического) воздействия пыли (песка);

атмосферы с коррозионно-активными агентами.

Для некоторых изделий, предназначенных для работы в тропических условиях или подвергающихся внешним воздействиям при хранении, представляют интерес испытания на воздействие биологических

факторов, в частности на воздействие плесневых грибов, которых насчитывается порядка 40 000.

К испытаниям изделий на воздействие *ионизирующего* излучения в основном относятся испытания на воздействие:

– радиационной стойкости (ГОСТ 16504-81);
– радиационной устойчивости.

По условиям проведения различают испытания:

натурные;

лабораторные.

По виду воздействия испытания делятся на воздействия:

электромагнитных излучений (рентгеновское и гамма-квантов);

потоков нейтронов;

потоков ионов и протонов.

Виды испытаний для конкретных изделий выбирают из числа перечисленных, исходя из предъявляемых к ним требований, их конструктивного осуществления, технологии изготовления и условий эксплуатации. В зависимости от назначения изделий (производственно-технического, культурно-бытового и т. д.) виды испытаний указывают в стандартах, конструкторской документации, программах и методиках испытаний.

3.3.2. Климатические испытания

3.3.2.1. Типы климата

Климатические факторы внешней среды – это температура, влажность воздуха, давление воздуха или газа (высота над уровнем моря), солнечное излучение, дождь, ветер, пыль (в том числе снежная), смены температур, соляной туман, иней, гидростатическое давление воды, действие плесневых грибов, содержание в воздухе коррозионно-активных агентов. Требования по температуре внешней среды, сменам температуры, влажности и давлению воздуха предъявляют к изделиям всех исполнений и категорий.

В соответствии с ГОСТ 15150-69 к изделиям предъявляют требования по воздействию температуры, влажности воздуха, давления воздуха или газа (высота над уровнем моря), солнечного излучения, дождя, ветра, пыли (в том числе снежная), смены температур, соляного тумана, инея, гидростатического давления воды, действия плесневых грибов, содержания в воздухе коррозионно-активных агентов. В табл. 3.1 приведены типы климатов и макроклиматов и критерии их разграничения.

Таблица 3.1

Типы климатов и макроклиматов и критерии их разграничения

Климатические исполнения изделий	Обозначения		
	буквенные		цифровые
	русские	латинские	
Изделия, предназначенные для эксплуатации на суше, реках, озерах	У	N	0
Для макроклиматического района с умеренным климатом	УХЛ	NF	1
Для макроклиматических районов с умеренным и холодным климатом	ТВ	TN	2
Для макроклиматического района с влажным тропическим климатом	ТС	TA	3
Для макроклиматического района с сухим тропическим климатом	Т	T	4
Для макроклиматического района как с сухим, так и с влажным тропическим климатом	УТ	NT	0
Для макроклиматического района как с умеренным, так и с тропическим климатом	0	U	5
Для всех макроклиматических районов на суше, кроме климатического района с антарктическим холодным климатом (общеклиматическое исполнение)	М	M	6
Изделия, предназначенные для эксплуатации в макроклиматических районах с морским климатом			
Для макроклиматического района с умеренно-холодным морским климатом			
Для макроклиматического района с тропическим морским климатом, в том числе для судов каботажного плавания или иных, предназначенных для плавания только в этом районе	ТМ	MT	7
Для макроклиматических районов как с умеренно-холодным, так и тропическим морским климатом, в том числе для судов неограниченного района плавания	ОМ	MU	8
Изделия, предназначенные для эксплуатации во всех макроклиматических районах на суше и на море, кроме климатического района с антарктическим холодным климатом (всеклиматическое исполнение)	В	W	9

К макроклиматическому району с умеренным климатом относятся районы, где средняя из ежегодных абсолютных максимумов температура воздуха равна или ниже плюс 40 °С, а средняя из ежегодных

абсолютных минимумов температура воздуха равна или выше минус 45 °С (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Типы климатов земного шара, их обозначения и критерии разграничения

Тип климата	Обозначение		Критерии разграничения		
	Русское	Английское	среднее значение из ежегодных абсолютных минимумов температуры воздуха, °С	среднее значение из ежегодных абсолютных максимумов температуры воздуха, °С	географическая координата, градусы широты
Антарктический холодный	АХл	AC	Ниже -60	-	-
Экстремальный холодный	ЭХл	EC	Ниже -50 до -60 вкл.	-	-
Холодный	Хл	C	Ниже -45 до -50 вкл.	-	-
Холодный умеренный	ХлУ	CT	Ниже -25 до -45 вкл	-	-
Теплый умеренный	ТпУ	WT	-25 и выше	-	-
Теплый сухой умеренный	ТпСУ	WDrT	Ниже -10 до -25 вкл.	40 и ниже	-
Теплый переходный	ТпПр	WTs	-10 и выше	45 и ниже до 40	-
Мягкий теплый сухой	МпТпС	WWDr	-10 и выше	45 и ниже до 40	-
Экстремальный теплый сухой	ЭТпС	EWDr	-	Dsit 45	-
Теплый влажный	ТпВ	WDa	-	-	-
Теплый влажный равномерный	ТпВР	WDaE	-	-	-
Холодный морской	ХлМ	CM	Ниже -30	-	-
Умеренный морской	УМ	TM	-30 и выше	-	-
Холодный	ХлМ	CM	Ниже -30	-	-
Тропический морской	ТМ	TrM	-	-	Менее 30

Для использования технических изделий в нескольких географических районах с различными типами климатов последние группируют по типам макроклиматов следующим образом:

– антарктический холодный (АХЛ, АС), ограниченный антарктическим холодным типом климата;

– холодный (ХЛ, С), объединяющий типы климатов: экстремальный холодный (ЭХл, ЕС) и холодный (Хл, С);

– умеренный (У, Т), объединяющий типы климатов: холодный умеренный (ХлУ, СТ), теплый умеренный (ТпУ, WT), теплый сухой умеренный (ТпСУ, WDrT);

– тропический влажный (ТВ, TrDa), объединяющий типы климатов: теплый влажный (ТпВ, WDa) и теплый влажный равномерный (ТпВР, WDaE);

– тропический сухой (ТС, TrDr), объединяющий типы климатов: мягкий теплый сухой (МгТпС, WWDr), экстремальный теплый сухой (ЭТпС, EWDr) и теплый переходный (ТпПр, WTs);

– умеренно-холодный морской (М, М), объединяющий типы климатов: умеренный морской (УМ, ТМ) и холодный морской (ХлМ, СМ);

– тропический морской (ТМ, TrM), ограниченный тропическим морским типом климата.

В составе типа умеренного макроклимата выделяют подтип макроклимата теплый умеренный (ТУ, WT), объединяющий типы климатов: теплый умеренный (ТпУ, WT) и теплый сухой умеренный (ТпСУ, WDrT).

Для более универсального применения изделий устанавливают следующие группы макроклиматов:

– умеренно-холодный (УХЛ, ТС), объединяющий макроклиматы: умеренный (У, Т) и холодный (ХЛ, С);

– тропический (Т, Tr), объединяющий макроклиматы: тропический влажный (ТВ, TrDa) и тропический сухой (ТС, TrDr);

– общемировой (О, WW), объединяющий все типы макроклиматов, кроме антарктического холодного (АХЛ, АС) и морских (М и ТМ, М и TrM);

– общеклиматический морской (ОМ, UM), объединяющий макроклиматы: умеренно-холодный морской (М, М) и тропический морской (ТМ, TrM);

– всеобщий (В, U), объединяющий все макроклиматы, кроме антарктического холодного (АХЛ, АС).

К макроклиматическому району с холодным климатом относятся районы, в которых средняя из ежегодных абсолютных минимумов температура воздуха ниже минус 45 °С (см. табл. 3.2).

Изделия, размещенные на передвижных установках, предназначенных для поставок в район побережья Охотского (севернее устья р. Уда) и Берингова морей (за исключением Камчатского полуострова), должны изготавливаться в исполнении ХЛ.

К макроклиматическому району с холодным антарктическим климатом относятся районы, где средняя минимальная температура ниже минус 60 °С (Центральная Антарктида).

3.3.2.2. Метод определения сопротивления климатическим воздействиям и оценки долговечности профилей поливинилхлоридных для оконных и дверных блоков

Сущность метода в соответствии с ГОСТ30973-2002 заключается в проведении ускоренных испытаний профилей циклическими воздействиями переменных положительных и отрицательных температур, влажности, ультрафиолетового облучения и слабоагрессивных химических сред (растворов), имитирующих воздействие критических эксплуатационных нагрузок, и определении изменения свойств материала по характерным показателям старения.

В качестве характерных показателей старения при определении сопротивления климатическим воздействиям и оценки долговечности профилей принимают: прочность при растяжении, изменение линейных размеров после теплового воздействия, ударную вязкость по Шарпи и цветовые характеристики.

Для проведения испытаний требуется установка (комплект оборудования), обеспечивающая создание, регулирование и поддержание заданных режимов испытания (например, аппарат искусственной погоды (АИП) с ксеноновым излучателем по ГОСТ 23750):

– ультрафиолетовое облучение с распределением энергии в диапазоне длин волн 280–400 нм, близком солнечному, и регулируемой интенсивностью в пределах 50–90 Вт/м^2 при температуре в камере по термометру «черная панель» (50 +/- 3) °С;

– дождевание (орошение) образцов;

– воздействие положительных температур (до 70 °С с погрешностью измерения не более 2 °С);

– воздействие отрицательных температур (до минус 70 °С с погрешностью измерения не более 2 °С);

– воздействие жидкой (или газообразной) слабоагрессивной среды при температуре (20 +/- 3) °С.

При испытаниях применяют:

машину разрывную, обеспечивающую измерение нагрузки с погрешностью не более 1 % от измеряемой величины и постоянную скорость перемещения подвижного захвата – (50 +/- 5) мм/мин;

фотоэлектрический блескомер по ГОСТ 896;

фотоинтенсиметр, обеспечивающий измерение интенсивности УФ излучения в диапазоне длин волн 280 – 400 нм с погрешностью измерения не более 15 %;

термометры жидкостные и ртутные с диапазоном измерения от минус 100 °С до плюс 100 °С с погрешностью измерения не более 1,0 °С;

весы лабораторные общего назначения с погрешностью измерения не более 0,1 г;

устройство для определения стойкости к удару по ГОСТ 30673;

оборудование для определения температуры размягчения по Вика по ГОСТ 15088;

шкала серых эталонов по ГОСТ 9733.1;

цветоизмерительный спектрофотометр (например, типа «Minolta») для колориметрического определения цветовых характеристик по координатному методу в системе CIELAB с погрешностью измерения не более 2 %;

маятниковый копер по ГОСТ 4647;

штангенциркуль по ГОСТ 166;

линейка по ГОСТ 427;

емкость из стекла, фарфора или эмалированной стали, предназначенная для заполнения водой (химическими растворами) и размещения образцов;

часы с погрешностью измерения не более 10 с/сут.

Для проведения климатических испытаний из лицевой стенки профилей в направлении его продольной оси вырезают образцы-пластины размером [(220×55) +/- 2] мм. Толщина образцов равна толщине профиля в месте вырезки. После проведения климатических воздействий из образцов-пластин вырезают образцы с размерами, установленными в нормативной документации на методы проведения испытаний по характерным показателям старения.

Число образцов (в том числе контрольных) устанавливают в зависимости от продолжительности испытаний, частоты съемов и числа образцов на один съем для определения каждого показателя.

Отобранные образцы профилей кондиционируют по ГОСТ 12423 в распакованном виде при температуре (22 +/- 3) °С не менее 1 сут.

Устанавливают режимы работы испытательного оборудования в соответствии с принятым режимом испытаний и инструкциями по эксплуатации оборудования.

Интенсивность ультрафиолетового излучения контролируют фотоинтенсиметром перед началом испытаний и через каждые 20 ч облучения.

До начала проведения испытаний устанавливают режим испытаний. Испытания проводят в следующей последовательности:

– предварительные испытания;

– испытания после циклических режимов воздействия, указанных в табл. 3.3 (в том числе промежуточные испытания).

Таблица 3.3

Режимы циклов испытаний, ч

Режим	Орошение соляным раствором	Облучение УФ	Орошение щелочным раствором	Замора-живание	Орошение кислым раствором	Нагрев	Время цикла
I	-	1,0	0,3	-	-	6,0	7,3
II	0,4	4,0	0,3	2,5	0,3	15,0	22,5
III	0,4	3,0	0,3	3,5	0,3	15,0	22,5
IYM	0,4	3,0	0,3	3,5	0,3	15,0	22,5

Примечания:

1. Температура выдержки при замораживании:

для режима II – минус 30 °С;

для режима III – минус 30 °С; минус 50 °С – каждый шестой цикл;

для режима IVM – минус 30 °С; минус 60 °С – каждый шестой цикл.

2. Температура выдержки при нагреве для всех режимов - (60 – 2) °С, при относительной влажности воздуха (90 – 100) %.

3. Уровень интенсивности УФ облучения для всех режимов устанавливают 80 Вт/м^2.

4. В качестве солевого раствора применяют 3 %-й водный раствор NaCl.

В качестве щелочного раствора применяют 3 %-й водный раствор $NaHCO_3$.

В качестве кислого раствора применяют 3 %-й водный раствор H_2SO_4.

Температура растворов при испытании – (22 +/- 3) °С.

После каждого вида воздействия образцы промывают дистиллированной водой.

5. Допускается замена орошения профилей погружением в емкость с соответствующим раствором.

6. Время повышения и снижения температуры при замораживании и нагреве образцов входит во временные интервалы, указанные в температуры не должно превышать 3 °С/мин.

При проведении предварительных испытаний определяют следующие показатели профилей:

– стойкость к удару по ГОСТ 30673;

– изменение линейных размеров после теплового воздействия по ГОСТ 30673;

– прочность при растяжении по ГОСТ 11262;

– ударную вязкость по Шарпи по ГОСТ 4647;

– температуру размягчения по Вика по ГОСТ 15088;

– цвет по координатному методу (до 01.01.2005 г. изменение цветовых характеристик допускается определять по коэффициенту диффузного отражения (белизне) по ГОСТ 896 и порогу серой шкалы);

– прочность сцепления ламинированного покрытия по ГОСТ 19111.

Целью проведения предварительных испытаний является установление фактических характеристик профилей и подтверждение их соответствия требованиям ГОСТ 30673.

Примечания. 1. При определении прочности при растяжении, температуры размягчения по Вика и ударной вязкости по Шарпи используют дополнения к методам испытаний, приведенные в ГОСТ 30673.

2. Изменение цвета по порогу серой шкалы и цвет по координатному методу определяют по методикам, утвержденным в установленном порядке.

Режим циклических испытаний образцов-пластин устанавливают, исходя из условий эксплуатации профилей.

Профили, предназначенные для эксплуатации во внутренних условиях, испытывают по режиму I.

Испытания профилей, предназначенных для эксплуатации в наружных условиях (а также в неотапливаемых помещениях) в климатических районах со среднемесячной температурой воздуха в январе минус 10 °С проводят по режиму II; минус 20 °С – по режиму III. Профили морозостойкого исполнения, предназначенные для эксплуатации при более низких температурах, испытывают по режиму IVM.

После 24 циклов климатических воздействий проводят промежуточные испытания по показателям ударной вязкости по Шарпи и цветовым характеристикам.

Если результаты испытаний хотя бы по одному показателю выходят за пределы значений, установленных в ГОСТ 30673, то проведение испытаний приостанавливают, а результаты признают неудовлетворительными.

После окончания циклических испытаний на климатические воздействия определяют характерные показатели старения:

– прочность при растяжении по ГОСТ 11262;

– изменение линейных размеров после теплового воздействия по ГОСТ 30673;

– ударную вязкость по Шарпи по ГОСТ 4647;

– изменение цвета по координатному методу;

– коэффициент диффузного отражения (белизну) на трех образцах размером [(50×50) +/- 2] мм по ГОСТ 896;

– изменение цвета по порогу серой шкалы на трех образцах размером [(50×50) +/- 2] мм путем сравнения с контрольными образцами и серой шкалой;

– прочность сцепления ламинированного покрытия по ГОСТ 19111.

2. Изменение цветовых характеристик определяют по координатному методу или по порогу серой шкалы, при этом первый метод является предпочтительным.

Во время проведения испытаний осуществляют постоянный визуальный осмотр образцов на наличие дефектов внешнего вида (вздутия, трещины, раковины, цветовые пятна). При обнаружении отклонений от требований НД по этим показателям хотя бы на одном образце все образцы снимают с испытаний и результаты испытаний признают неудовлетворительными.

Физико-механические характеристики образцов определяют не ранее чем через 8 ч после окончания климатических воздействий. Изменении цветовых характеристик по порогу серой шкалы определяют путем сравнения образцов, прошедших испытания, с контрольными образцами.

Оценку результатов испытаний профилей на сопротивление климатическим воздействиям проводят путем сравнения значений каждого характерного показателя старения, полученного после проведения испытаний, со значениями нормативных показателей по ГОСТ 30673 и фактическими значениями результатов предварительных испытаний.

Изменение характерного показателя старения образца $Y_{отн}$, %, (кроме цветовых характеристик) вычисляют по формуле

$$Y_{отн} = \frac{Y_{контр} - Y_{исп}}{Y_{контр}} \cdot 100, \qquad (3.1)$$

где $Y_{контр}$ – значение показателя до испытаний;

$Y_{исп}$ – значение показателя после испытаний.

За результат испытаний принимают среднеарифметическое значение результатов испытаний всех образцов по данному характерному показателю. За результат испытания по показателю порога серой шкалы принимают результат испытания образца с максимальным изменением показателей.

Предельные отклонения значений характерных показателей после проведения испытаний от контрольных значений приведены в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Наименование показателя	Предельное отклонение значений
Прочность при растяжении, %	40
Ударная вязкость по Шарпи, %	50
Изменение линейных размеров, %	40
Белизна, %	25
Цвет по координатному методу: A B L	 <=0,8 <=3,5 <=5,5
Порог серой шкалы	3
Прочность сцепления ламинированного по крытия, %	40

Оценку долговечности профилей производят по числу проведенных циклов климатических испытаний, имеющих положительный результат по всем характерным показателям старения. При этом каждые 12 циклов испытаний приравнивают к 10 условным годам эксплуатации.

Положительный результат полного цикла испытаний является подтверждением стойкости профилей к воздействию слабоагрессивных химических сред и отрицательных температур (морозостойкость) в пределах климатической зоны, обусловленной режимом испытаний.

3.3.2.3. Метод определения сопротивления воздействию климатических факторов дверей деревянных

ГОСТ 28786-90 устанавливает метод определения сопротивления дверей воздействию климатических факторов под влиянием переменной влажности и температуры воздуха.

Для испытаний применяют:

– камеру для испытаний образцов дверей на сопротивление воздействию влажной среды, обеспечивающую поддержание относительной влажности воздуха 20–100 % и температуры 20–25 °С;

– камеру для испытаний образцов дверей на сопротивление воздействию различных климатических условий, обеспечивающую поддержание климатических нагрузок;

– инструменты для измерения размеров и отклонений от плоскостности дверного полотна;

– термометр для измерения температуры воздуха помещения в пределах 0–50 °С;

– психрометр для измерения влажности воздуха помещения в пределах 0–100 %;

– электрический влагомер для древесины с погрешностью измерения не более 2 %.

Образцы для испытания кондиционируют при температуре (23 +/- 2) °С и относительной влажности воздуха (50 +/- 5) % до достижения влажности древесины (10 +/- 2) % или в течение 21 сут.

На образцах дверей после их кондиционирования измеряют отклонения от плоскостности дверного полотна, размеры дверного полотна и коробки, а также зазоров в притворах. Отклонение от плоскостности измеряют на обеих сторонах полотна с погрешностью не более +/- 0,1 мм.

Визуально проверяют состояние элементов конструкции, клеевых соединений; для дверей с окончательно отделанной поверхностью – состояние отделочного покрытия. Полученные данные отмечают в лабораторном журнале.

Испытания дверей на сопротивление воздействию влажной среды. Образцы, прошедшие подготовку, выдерживают в мокром климате в соответствии с параметрами табл. 3.5:

7 сут – для дверей без отделочного покрытия;

21 сут – для дверей с окончательно отделанной поверхностью.

Таблица 3.5

Климат	Температура, °С	Относительная влажность, %
Мокрый	23 +/- 2	85 +/- 5
Сухой	23 +/- 2	30 +/- 5

По истечении установленного времени измеряют отклонения дверного полотна от плоскостности, размеры дверного полотна и коробки, а также зазоров в притворах; отмечают изменение состояния конструкции и отделочного покрытия. Полученные данные фиксируют в лабораторном журнале.

Затем образец двери выдерживают в сухом климате в соответствии с параметрами табл. 3.5 в течение такого же времени.

После окончания испытания измеряют отклонения от плоскостности дверного полотна, размеры дверного полотна и коробки, а также зазоров в притворах, отмечают изменения состояния конструкции и отделочного покрытия. Полученные данные фиксируют в лабораторном журнале.

Если одновременно подвергают испытанию несколько образцов в камере кондиционирования, то расстояние между сторонами соседних образцов должно быть не менее 25 см.

Испытания дверей на сопротивление воздействию различных климатических условий с разных сторон дверного полотна. Образец двери помещают в проем разделительной стенки камеры для испытаний, герметично заделывают зазоры между стенкой и дверной коробкой. При этом прогиб образца и нарушение его конструкции не допускаются.

Камера для испытаний должна обеспечивать с каждой стороны дверного полотна климатический режим в соответствии с табл. 3.6. Категория климатической нагрузки должна соответствовать назначению двери.

Таблица 3.6

Категория климатической нагрузки	Внутренняя сторона дверного полотна		Наружная сторона дверного полотна	
	температура, °С	относительная влажность, %	температура, °С	относительная влажность, %
I	23 +/- 2	30 +/- 5	18 +/- 2	50 +/- 5
II			13 +/- 2	65 +/- 5
III			3 +/- 2	85 +/- 5
IV			3 +/- 2	85 +/- 5
			И дополнительно 24 ч при температуре минус (20 +/- 2)°С; относительная влажность воздуха не регламентируется	

Примечание. Категорию I рекомендуется применять для внутриквартирных дверей, категорию II – для внутренних входных дверей; категорию III – для внутренних дверей из тамбуров для входа в здания; категорию IV – для наружных дверей.

Образцы выдерживают в течение 28 сут.

По окончании испытания измеряют отклонения от плоскостности дверной створки, размеры дверного полотна и коробки, а также зазоров в притворах, отмечают изменение состояния конструкции и отделочного покрытия. Полученные данные фиксируют в лабораторном журнале.

При необходимости преждевременного окончания испытания (например, при значительном повреждении конструкции двери) фиксируют время испытания и причину преждевременного окончания испытания в отчете об испытании.

Оценка результатов. Плоскостность дверного полотна, размеры дверного полотна и коробки, а также зазоров в притворах сравнивают с параметрами образца до испытания.

Состояние конструкции и отделочного покрытия сравнивают с состоянием конструкции и отделочного покрытия до испытания. Если образец двери после испытания не имеет отклонений от первоначальных параметров или эти отклонения не превышают требований,

установленных в НТД на изделия, результат испытаний признают удовлетворительным.

3.3.2.4. Методы испытания на старение под воздействием искусственных климатических факторов рулонных кровельных материалов

ГОСТ 18956-73 устанавливает методы испытания на стойкость к старению под воздействием искусственных климатических факторов (света, тепла, влаги и холода) рулонных кровельных материалов, изготовляемые на битумном (и его модификации) вяжущем. Изменения физико-механических свойств кровельного материала устанавливают по величинам показателей прочности в продольном направлении и относительного удлинения при разрыве, гибкости, по ударной вязкости образца без надреза при температуре минус 20 °С.

Для определения стойкости кровельного материала к старению из полотна в продольном направлении вырезают полосу шириной 200 мм, отступив от кромки не менее 200 мм, по изменению физико-механических показателей из отобранных рулонов. Из полосы вырезают образцы размерами 190×230 мм. Длина полосы определяется количеством образцов, необходимых для испытания.

Количество образцов устанавливают, исходя из общей продолжительности испытаний и количества промежуточных отборов для определения изменений физико-механических показателей кровельного материала.

Для определения стойкости кровельного материала к старению по изменению внешнего вида из каждого рулона вырезают по три полосы размерами 1100 х 100 мм. Полосы вырезают на расстоянии 150 мм от кромки, а расстояние между полосами должно быть 200 мм. Из каждой полосы вырезают по четыре образца размерами 70×230 мм, один из которых является контрольным. Контрольный образец упаковывают в бумажный пакет и хранят в помещении при температуре 20 +/- 2 °С для дальнейшего сопоставления его с испытываемыми образцами.

Аппарат искусственной погоды (АИП) состоит из следующих основных частей:

– рабочей камеры;

– электрического источника световой радиации с системой для зажигания и постоянного горения и счетчиком времени его работы;

– держателей образцов с системой перемещения их вокруг источника (источников) света;

– устройство для дождевания образцов;

– устройство для поддержания необходимого температурного режима в рабочей камере с точностью +/- 2 °С;

– устройство для поддержания в рабочей камере заданной относительной влажности воздуха (узел увлажнения) в пределах от 10 до 98 % с точностью +/- 2 %;

– пульта управления и автоматики.

В качестве искусственного источника облучения применяют одну газосветную ксеноновую трубчатую лампу типа ДКСТВ с водяным охлаждением или две угольные дуговые лампы закрытого типа, расположенные на разных уровнях.

Устройство для дождевания образцов должно обеспечивать дождевание водой облучаемой поверхности образцов в течение заданного промежутка времени. Вода, выходящая из сопел, не должна попадать на образец в виде струи.

До проведения испытания образцы должны быть выдержаны не менее 24 ч при температуре 20 +/- 2 °С. Перед испытанием образцов в аппарате искусственной погоды должны быть определены и записаны в рабочий журнал физико-механические показатели испытуемого кровельного материала, по которым будет определяться стойкость материала на старение.

Образцы размерами 190×230 и 70×230 мм должны быть укреплены на металлические кассеты, размеры которых соответственно 200×240 и 80×240 мм. Между образцами и кассетой прокладывают целлофановую пленку. Образцы крепят к кассетам при помощи металлической пластинки.

До начала испытаний образцов аппаратура должна быть отрегулирована на заданный режим. Для контроля температуры в АИП используют термометр с «черной панелью».Определение фактической и условной температур образца в процессе испытания его в АИП производят следующим образом. При экспонировании образца в АИП температуру его поверхности устанавливают обычно выше температуры воздуха в рабочей камере. Разность температур поверхности образца и воздуха в рабочей камере возрастает с увеличением черноты образца.

Различают температуру поверхности образца фактическую и условную. Фактическую температуру поверхности образца из рубероида определяют при помощи термопар, введенных в покровной слой битума. В качестве датчика температуры используют хромель-капелевые термопары. При таких замерах держатель образцов должен быть неподвижен. Провода, соединяющие термопары с автоматическим

потенциометром, выводят через смотровые отверстия, имеющиеся в рабочей камере.

Проведение испытаний. Испытание на стойкость к старению образцов кровельного материала в лабораторных условиях может проводиться по двум режимам:

При определении стойкости к старению кровельного материала по I режиму испытание проводят по следующему циклу:

а) облучение образцов в течение 360 ч в аппарате искусственной погоды с ксеноновой лампой мощностью 6 кВт при температуре «черной панели» 50–55 °С с периодическим дождеванием образцов в течение 3 ч через каждый 21 ч.

Разрешается вместо дождевания производить замачивание образцов в течение 2 ч через каждые 22 ч облучения;

б) замачивание образцов в воде при температуре 20 +/- 2 °С в течение 24 ч с последующей выдержкой в течение 10 мин на воздухе при температуре плюс 20 °С для стекания воды;

в) замораживание образцов при температуре минус 40 °С в течение 72 ч;

г) 60 переходов через 0 °С по следующему температурному режиму одного перехода: 1 ч выдержки при температуре плюс 10 °С и 1 ч – при температуре минус 10 °С.

При определении стойкости к старению кровельного материала по II режиму испытание проводят с использованием ксеноновой или двух угольных ламп по следующему циклу:

а) облучение образцов при температуре «черной панели» 50–55 °С в течение 17 ч;

б) замачивание образцов в дистиллированной воде (или их дождевание) в течение 2 ч;

в) замораживание образцов при температуре минус 18–20 °С в течение 2 ч;

г) выдержка образцов при температуре 20 +/- 2 °С в течение 3 ч.

В процессе испытания кровельного материала производят осмотр, а также отбор образцов, прошедших определенное количество циклов испытаний, для определения их физико-механических показателей. Стойкость образцов по изменению внешнего вида материала оценивают по этапам разрушения.

Количество циклов испытания, соответствующее определенному этапу разрушения, устанавливается в действующих стандартах и технических условиях на каждый вид испытуемого материала. Характеристика этапов разрушения приведена в табл. 3.7.

Таблица 3.7

Этапы разрушения	Виды разрушения
I	На поверхности образца матовые пятна. Поверхность матовая с серыми и коричневыми пятнами. Поверхность матовая с серым налетом и коричневыми пятнами.
II	Волосные трещины очень тонкие, едва заметные невооруженным глазом. Волосные трещины распространяются по всей поверхности и образуют сетку. Волосные трещины увеличиваются в глубину и ширину и постепенно переходят в глубокие трещины.
III	Точечные исчезающие пузырьки и неисчезающие мелкие каверны.
IY	Крупные устойчивые пузырьки диаметром от 1 до 3 мм
Y	Крупные устойчивые каверны диаметром от 1 до 5 мм.
YI	Глубокие трещины, увеличение размеров каверн. Трещины разрастаются, образуя сетку.
YII	Трещины, доходящие до основы материала

Для определения прочности и относительного удлинения при разрыве из образцов размерами 190×230 мм, прошедших определенное количество циклов испытаний, вырубаются при помощи штанцевого ножа три образца в форме двусторонней лопатки (рис. 3.1). Образцы испытывают на разрыв со скоростью 30 мм/мин.

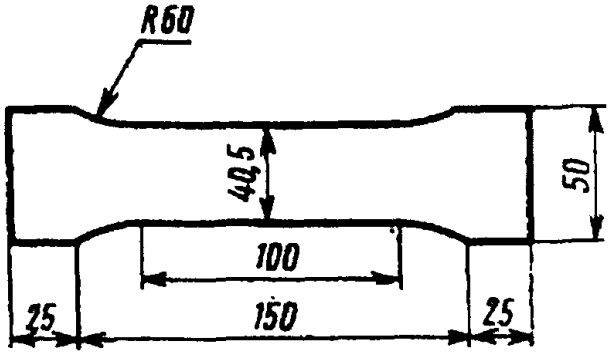


Рис. 3.1. Форма образца

Для определения прочности и относительного удлинения при разрыве применяют разрывные машины с постоянной скоростью перемещения нижнего захвата (с маятниковым силоизмерителем) или машины с постоянной скоростью растяжения образца (с малоинерционным силоизмерителем).

За величину стойкости кровельного материала к старению принимают количество циклов, в течение которых физико-механические показатели материала снизились до величин, указанных в действующих стандартах и технических условиях на каждый вид материала.

За величину прочности при разрыве $\left(\overline{R}\right)$ и удлинения $\left(\Delta\overline{l}\right)$ принимают среднее арифметическое значение результатов испытаний образцов-лопаток, определяемых по формулам

$$\overline{R} = \frac{\sum \overline{P}}{n}; \quad \Delta\overline{l} = \frac{\sum \Delta l}{n}, \tag{3.2}$$

где $\overline{P}$ – прочность при разрыве образца-лопатки, кгс;

Δl – удлинение при разрыве образца-лопатки, определяемое на базе между внутренними гранями захватов, мм;

n – количество испытанных образцов.

Относительную разрывную нагрузку σ_p, кгс/см, определяют по формуле

$$\sigma_p = \frac{\overline{P}}{b}, \tag{3.3}$$

где b – ширина рабочей части лопатки, см.

Относительную разрывную деформацию ε_p в процентах определяют по формуле

$$\varepsilon_p = \frac{\Delta\overline{l}}{l}, \tag{3.4}$$

где l – расстояние между внутренними гранями захватов, мм.

Определение стойкости по внешнему виду рулонного кровельного материала

Стойкость рулонного кровельного материала к старению устанавливают по этапам разрушения материала. Стандартом предусматривается семь этапов разрушения.

За величину стойкости кровельного материала к старению принимают количество циклов испытания материала в аппарате искусственной погоды, соответствующее пятому этапу разрушения, при котором 50 % поверхности образца будет подвергнуто разрушению данного вида. Степень разрушения образцов на соответствующем этапе выражают в процентах от общей площади образца, который определяют по нижеприведенной методике.

Пластинку из прозрачного материала (стекло, оргстекло, целлулоид), на которой нанесена сетка со сторонами 10×10 мм, накладывают

на поверхность испытуемого образца и подсчитывают количество клеток, в которых наблюдается тот или иной вид разрушения соответствующего этапа. Размер пластинки должен быть меньше размера самого образца по ширине и длине на 10 мм.

Разрушения поверхности образца χ в процентах вычисляют по формуле

$$\chi = \frac{n_1}{n} \cdot 100, \qquad (3.5)$$

где n_1 – количество клеток, в которых наблюдается вид разрушения определяемого этапа, а также разрушения, соответствующие более поздним этапам;

n – количество клеток на прозрачной пластинке.

Результаты осмотра и подсчета процента разрушения заносят в журнал наблюдения.

3.3.2.5. Испытание бетона на стойкость при многократном переменном замораживании и оттаивании

Морозостойкость бетона – способность сохранять физико-механические свойства при многократном переменном замораживании и оттаивании в насыщенном водой состоянии. Морозостойкость бетона характеризуют соответствующей маркой по морозостойкости *F*. Марка бетона по морозостойкости *F* – это установленное нормами минимальное число циклов замораживания и оттаивания образцов бетона, при которых сохраняются первоначальные физико-механические свойства в нормируемых пределах.

Цикл испытания – совокупность одного периода замораживания и оттаивания образцов. Основные образцы – образцы, предназначенные для замораживания и оттаивания (испытания). Контрольные образцы – образцы, предназначенные для определения прочности бетона на сжатие перед началом испытания основных образцов.

В настоящее время существует несколько методов определения морозостойкости (табл. 3.8):

– базовые методы при многократном замораживании и оттаивании:

первый – для всех видов бетонов, кроме бетонов дорожных и аэродромных покрытий и бетонов конструкций, эксплуатирующихся в условиях воздействия минерализованной воды,

второй – для бетонов дорожных и аэродромных покрытий и для бетонов конструкций, эксплуатирующихся в условиях воздействия минерализованной воды;

– ускоренные методы при многократном замораживании и оттаивании:

второй – для всех видов бетонов, кроме бетонов дорожных и аэродромных покрытий и бетонов конструкций, эксплуатирующихся в условиях воздействия минерализованной воды, легких бетонов марок по средней плотности менее D1500,

третий – для всех видов бетонов, кроме легких бетонов марок по средней плотности менее D1500.

Условия испытаний для определения морозостойкости бетонов в зависимости от используемого метода и вида бетонов принимают по табл. 3.8.

Таблица 3.8

Условия испытаний при определении морозостойкости

Метод и марка бетона по морозостойкости	Условия испытания			Вид бетона
	Среда насыщения	Среда и температура замораживания	Среда и температура оттаивания	
Базовые методы				
Первый F_1	Вода	Воздушная, минус (18 +/-2) °С	Вода, (20 +/- 2) °С	Все виды бетонов, кроме бетонов дорожных и аэродромных покрытий и бетонов конструкций, эксплуатирующихся при действии минерализованной воды
Второй F_2	5%-й водный раствор хлорида натрия	Воздушная, минус (18 +/-2) °С	5%-й водный раствор хлорида натрия, (20 +/- 2) °С	Бетоны дорожных и аэродромных покрытий и бетоны конструкций, эксплуатирующихся при действии минерализованной воды
Ускоренные методы				
Второй	5%-й водный раствор хлорида натрия	Воздушная, минус (18 +/-2) °С	5%-й водный раствор хлорида натрия, (20 +/- 2) °С	Все виды бетонов, кроме бетонов дорожных и аэродромных покрытий, бетонов конструкций, эксплуатирующихся при действии минерализованной воды, и легких бетонов марок по средней плотности менее D1500
Третий	5%-й водный раствор хлорида натрия	5%-й водный раствор хлорида натрия, минус (50 +/- 2) °С	5%-й водный раствор хлорида натрия, (20 +/- 2) °С	Все виды бетонов, кроме легких бетонов марок по средней плотности менее D1500

Размеры образцов для определения морозостойкости приведены в табл.3.9.

Таблица 3.9

Размеры образцов для определения морозостойкости

Метод испытаний	Размеры образцов, мм
Первый	100×100×100 или 150×150×150
Второй	100×100×100 или 150×150×150
Третий	100×100×100 или 150×150×150

Число образцов для испытаний в зависимости от метода определения морозостойкости принимают по табл. 3.10.

Таблица 3.10

Число образцов для испытаний

Метод определения морозостойкости	Минимальное число образцов в серии, шт.	
	контрольных	основных
Первый	6	12 <*>
Второй	6	12 <*>
Третий	6	6 <*>
<*> При проведении испытаний образцов до разрушения число основных образцов следует увеличивать так, чтобы обеспечить проведение испытания до максимального числа циклов, более которого наблюдается критическое снижение нормируемых характеристик образцов и (или) появление трещин, сколов, шелушения ребер образцов.		

Образцы для испытания не должны иметь внешних дефектов. Разброс значений плотности отдельных образцов в серии до их насыщения не должен превышать 30 кг/м^3.

Контрольные образцы бетона перед испытанием на прочность, а основные образцы перед замораживанием насыщают водой или 5%-м водным раствором хлорида натрия температурой (20 +/- 2) °С. Для насыщения образцы погружают в воду или раствор хлорида натрия на 1/3 их высоты на 24 ч, затем уровень воды или раствора повышают до 2/3 высоты образцов и выдерживают в таком состоянии еще 24 ч, после чего образцы полностью погружают в воду или раствор на 48 ч так, чтобы уровень жидкости был выше верхней грани образцов не менее чем на 20 мм. Число циклов испытания основных образцов бетона в течение одних суток должно быть не менее 1. Испытания следует вести непрерывно. При вынужденных перерывах в испытании образцы должны храниться в замороженном состоянии в морозильной камере или в специальном холодильнике при температуре не выше минус 10 °С: при испытании по первому и второму методам образцы следует хранить укрытыми влажной тканью для защиты от высыхания, при испытании по третьему методу – в 5%-м водном растворе хлорида натрия.

Соотношение между числом циклов испытаний и маркой бетона по морозостойкости принимают по табл. 3.11.

Таблица 3.11

Соотношение между числом циклов испытаний и маркой бетона по морозостойкости

Методы		Вид бетона	Марки бетона по морозостойкости F_1 или F_2 и число циклов, после которого проводят промежуточное испытание (над чертой) и число циклов, соответствующее марке бетона по морозостойкости (под чертой)												
Базовые	Первый	Все виды бетонов, кроме бетонов дорожных и аэродромных покрытий и бетонов конструкций, эксплуатирующихся в минерализованной воде	$F_1$25	$F_1$35	$F_1$50	$F_1$75	$F_1$100	$F_1$150	$F_1$200	$F_1$300	$F_1$400	$F_1$500	$F_1$600	$F_1$800	$F_1$1000
			15* --- 25	25 --- 35	35 --- 50	50 --- 75	75 ---- 100	100 ---- 150	150 ---- 200	200 ---- 300	300 ---- 400	400 ---- 500	500 ---- 600	600 ---- 800	800 ----- 1000
	Второй	Бетоны дорожных и аэродромных покрытий и бетоны конструкций, эксплуатирующихся в минерализованной воде	-	-	-	$F_2$75	$F_2$100	$F_2$150	$F_2$200	$F_2$300	$F_2$400	$F_2$500	$F_2$600	$F_2$800	$F_2$1000
			-	-	-	50 --- 75	75 ---- 100	100 ---- 150	150 ---- 200	200 ---- 300	300 ---- 400	400 ---- 500	500 ---- 600	600 ---- 800	800 ----- 1000
Ускоренные	Второй	Все виды бетонов, кроме бетонов дорожных и аэродромных покрытий, бетонов конструкций, эксплуатирующихся в минерализованной воде, и легких бетонов со средней плотностью менее D1500	-	-	$F_1$50	$F_1$75	$F_1$100	$F_1$150	$F_1$200	$F_1$300	$F_1$400	$F_1$500	$F_1$600	$F_1$800	$F_1$1000
			-	-	- -- 8	- --- 13	- --- 20	20 --- 30	30 --- 45	45 --- 75	75 ---- 110	110 ---- 150	150 ---- 200	200 ---- 300	300 ---- 450
	Третий	Все виды бетонов, кроме бетонов дорожных и аэродромных покрытий, бетонов конструкций, эксплуатирующихся в минерализованной воде, и легких бетонов со средней плотностью менее D1500	-	-	-	$F_1$75	$F_1$100	$F_1$150	$F_1$200	$F_1$300	$F_1$400	$F_1$500	$F_1$600	$F_1$800	$F_1$1000
			-	-	-	2	3	4	5	8	12	15	19	27	35
		Бетоны дорожных и аэродромных покрытий и бетоны конструкций, эксплуатирующихся в минерализованной воде	-	-	-	-	$F_2$100	$F_2$150	$F_2$200	$F_2$300	$F_2$400	$F_2$500	$F_2$600	$F_2$800	$F_2$1000
			-	-	-	-	5	10	20	37	55	80	105	155	205

Первый метод. Испытание по первому базовому методу проводят замораживанием на воздухе образцов, насыщенных водой, и последующим их оттаиванием в воде. Насыщенные водой контрольные образцы извлекают из воды, обтирают влажной тканью и испытывают на сжатие по ГОСТ 10180. Рассчитывают внутрисерийный коэффициент вариации прочности. Серию образцов, внутрисерийный коэффициент вариации прочности которых превышает 9%, снимают с испытаний и проводят испытания новой серии образцов.

Насыщенные водой основные образцы извлекают из воды, обтирают влажной тканью и помещают в морозильную камеру в контейнере или устанавливают на сетчатый стеллаж камеры так, чтобы расстояние между образцами, стенками контейнера и расположенными выше стеллажами было не менее 20 мм. Включают камеру и понижают температуру. Началом замораживания считают момент установления в камере температуры минус 16 °С.

Число циклов замораживания и оттаивания, после которых определяют прочность при сжатии образцов бетона, принимают по 3.11.Образцы испытывают по режиму, указанному в табл. 3.12.

Таблица 3.12

Режимы испытаний образцов

Размер образца, мм	Режим испытаний			
	Замораживание		Оттаивание	
	Время, ч, не менее	Температура, °С	Время, ч, не менее	Температура, °С
100 х 100 х 100	2,5	Минус (18 +/- 2)	2 +/- 0,5	20 +/- 2
150 х 150 х 150	3,5		3 +/- 0,5	

Минимальную продолжительность замораживания образцов легких бетонов марок по средней плотности D1500-D1200 увеличивают на 0,5 ч, марок D1200-D1000 – на 1 ч, марок D900 и менее – на 1,5 ч.

Температуру воздуха в морозильной камере измеряют в центре ее объема в непосредственной близости от образцов.

Образцы после замораживания оттаивают в ванне с водой температурой (20 +/- 2) °С. При оттаивании образцы размещают на расстоянии друг от друга, стенок и днища ванны не менее чем на 20 мм, слой воды над верхней гранью образца должен быть не менее 20 мм.

Температуру воды в ванне измеряют в центре ее объема в непосредственной близости от образцов. Воду в ванне для оттаивания образцов меняют через каждые 100 циклов переменного замораживания и оттаивания.

Основные образцы после заданного числа циклов замораживания и оттаивания извлекают из воды, обтирают влажной тканью и испытывают на сжатие. При появлении в процессе испытаний образцов трещин и (или) сколов, и (или) шелушения ребер испытания прекращают.

Второй метод. Испытание по второму базовому методу проводят замораживанием на воздухе образцов, насыщенных раствором хлорида натрия, и последующим их оттаиванием в растворе хлорида натрия. Основные и контрольные образцы перед испытанием насыщают 5%-м водным раствором хлорида натрия. Контрольные образцы извлекают из раствора, обтирают влажной тканью, взвешивают и испытывают на сжатие.

Основные образцы после насыщения подвергают испытаниям на замораживание и оттаивание по режиму, приведенному в табл.3.12. Основные образцы помещают в морозильную камеру. Началом замораживания считают момент установления в камере температуры минус 16 °С. Число циклов замораживания и оттаивания, после которых определяют прочность при сжатии образцов бетона, принимают по табл.3.11.

Водный раствор хлорида натрия в ванне для оттаивания меняют через каждые 100 циклов.

Основные образцы после проведения заданного числа циклов замораживания и оттаивания осматривают. Материал, отделяющийся от образца, снимают жесткой капроновой щеткой. Образцы обтирают влажной тканью, взвешивают и испытывают на сжатие.

Рассчитывают изменение массы образцов Δm, %, по формуле

$$\Delta m = \frac{m - m_1}{m} 100, \qquad (3.6)$$

где m – масса образца до замораживания и оттаивания, г;

m_1 – масса образца после замораживания и оттаивания, г.

Среднее максимально допустимое уменьшение массы образцов не должно превышать 2 %.

Обработку результатов определения прочности контрольных и основных образцов выполняют в следующем порядке. Рассчитывают среднее значение прочности $X_{ср}$ по формуле

$$X_{ср} = \frac{\sum X_i}{n}, \qquad (3.7)$$

где X_i – прочность одного образца, МПа;

n – число образцов.

Рассчитывают среднеквадратическое отклонение σ_n по формуле

$$\sigma_n = \frac{W_n}{\alpha}, \tag{3.8}$$

где W_n – размах единичных значений прочности бетона в серии, определяемый как разность между максимальным и минимальным единичными значениями прочности, МПа;

α – коэффициент, зависящий от числа единичных значений прочности бетона n в серии, принимают по табл.3.13.

Таблица 3.13

Коэффициент α

Число единичных значений	2	3	4	5	6
Коэффициент	1,13	1,69	2,06	2,33	2,5

Коэффициент вариации прочности V_m рассчитывают по формуле

$$V_m = \frac{\sigma_n}{X_{\text{ср}}} \tag{3.9}$$

Определяют нижнюю границу доверительного интервала для контрольных образцов $X'_{\min}$ по формуле

$$X'_{\min} = X'_{\text{ср}} - t_\beta \sigma'_n \tag{3.10}$$

и $X''_{\min}$ для основных образцов после замораживания и оттаивания по формуле

$$X''_{\min} = X''_{\text{ср}} - t_\beta \sigma''_n, \tag{3.11}$$

где t_β – критерий Стьюдента при доверительной вероятности p = 0,95, принимаемый по табл.3.14 в зависимости от числа испытуемых образцов.

Таблица 3.14

Критерий Стьюдента

Число образцов n	4	5	6
Критерий Стьюдента t_β	3,182	2,776	2,570

Образцы считают выдержавшими испытание на морозостойкость, если соблюдается соотношение

$$X''_{\min} \geq X'_{\min}. \tag{3.12}$$

Марку бетона по морозостойкости принимают по табл.3.11 с учетом числа циклов, при котором сохраняется соотношение (3.12), уменьшение массы не превышает 2 % и на образцах отсутствуют трещины, сколы, шелушение ребер. Для бетона, к поверхности которого предъявляют требования по декоративности, и для бетона покрытий автомобильных дорог и аэродромов не допускается шелушение поверхности образцов..

Для легкого бетона марок по морозостойкости F50 и менее критерием оценки результатов испытания является уменьшение средней прочности на сжатие основных образцов по сравнению со средней прочностью контрольных образцов.

Уменьшение средней прочности легкого бетона не должно превышать 15 %, при этом шелушение ребер и поверхности образцов должно отсутствовать.

Ускоренные методы определения морозостойкости

Второй метод. Испытание по второму ускоренному методу проводят замораживанием на воздухе образцов, насыщенных водным раствором хлорида натрия, и последующим их оттаиванием в растворе хлорида натрия. Ускоренные испытания по второму методу проводят по режиму, приведенному в табл. 3.8.

Третий метод. При испытании по третьему ускоренному методу для насыщения, замораживания и оттаивания образцов применяют водный раствор хлорида натрия (см. табл. 3.8). Основные образцы помещают в морозильную камеру в закрытых сверху емкостях, наполненных 5%-м водным раствором хлорида натрия, так, чтобы расстояние между стенками емкостей и стенками емкостей и камеры было не менее 50 мм. Температуру в закрытой камере понижают до минус (50 +/- 2) °С и поддерживают в течение не менее 2,5 ч. Затем температуру в камере повышают до температуры минус 10 °С в течение (1,5 +/- 0,5) ч, после чего образцы размерами 100×100×100 мм оттаивают в 5%-ном водном растворе хлорида натрия температурой (20 +/- 2) °С в течение не менее 2,5 ч, образцы размерами 150×150×150 мм – в течение не менее 3,5 ч. Водный раствор хлорида натрия меняют в емкостях через каждые 20 циклов.

После заданного числа циклов основные образцы осматривают. Материал, отделяющийся от образца, снимают жесткой капроновой щеткой. Образцы обтирают влажной тканью, взвешивают и испытывают на сжатие.

Обработку результатов испытаний выполняют в соответствии с формулами (3.6)-(3.12).

Марку бетона по морозостойкости принимают по табл.3.11 с учетом числа циклов, при котором сохраняется соотношение (3.12), уменьшение массы образцов не превышает 2 %, отсутствуют трещины, сколы и шелушение ребер.

Кроме того, для образцов, изготовленных в лаборатории или отобранных из конструкций, применяют метод, основанный на изменении динамического модуля упругости или скорости ультразвука или деформаций.

Число образцов для испытаний должно быть не менее шести. Образцы изготовляют из бетонной смеси в лаборатории или отбирают из конструкции. Образцы-призмы размерами 100×100×300 (400) мм изготовляют в лаборатории в формах по ГОСТ 22685.

Образцы для измерения деформаций оснащают реперами. В образцы, изготовляемые в лаборатории, реперы устанавливают, закрепляя их в формах. В образцы, отобранные из конструкций, реперы устанавливают на эпоксидной смоле в высверленные лунки.

Для измерения температуры бетона в центре образца используют образец бетона, аналогичный основным образцам, с отверстием для установки датчика температуры.

До начала испытаний образцы насыщают водой или 5%-м водным раствором хлорида натрия температурой (20 +/- 2) °С. Образцы взвешивают, определяют длину образцов или скорость ультразвука, или частоту собственных поперечных колебаний образцов.

Для измерения температуры в образец бетона устанавливают температурный датчик, после чего образец с датчиком помещают в середину морозильной камеры.

В зависимости от режима испытаний (по первому, второму или третьему методу) насыщенные водой или 5%-м водным раствором хлорида натрия образцы размещают на стеллажах морозильной камеры или помещают в емкости с раствором хлорида натрия, которые устанавливают в морозильную камеру.

Замораживание и оттаивание образцов проводят по режиму первого, второго или третьего метода (см. табл. 3.8). Продолжительность замораживания и оттаивания принимают в зависимости от минимального размера образцов по табл. 3.12. Для образцов минимальным размером 60–100 мм, отобранных из конструкций, принимают тот же режим, что и для образцов размерами 100×100×100 мм.

После заданного числа циклов замораживания и оттаивания определяют длину образцов или скорость ультразвука, или частоту собственных поперечных колебаний образцов. Число циклов принимают по табл.3.11.

При испытании по первому и второму методам воду или раствор хлорида натрия в ваннах для оттаивания меняют через каждые 100 циклов замораживания и оттаивания. При испытании по третьему методу раствор хлорида натрия в емкостях меняют через каждые 20 циклов замораживания и оттаивания.

При повторной установке в камеру расположение образцов в камере меняют. Разность температуры в отдельных зонах по объему камеры в середине периода замораживания не должна превышать 3 °С.

Испытания продолжают до уменьшения массы образцов на 2% или увеличения длины образцов на 0,1%, или снижения скорости ультразвука при сквозном продольном прозвучивании на 15%, или до уменьшения динамического модуля упругости на 25% исходного значения.

При измерении массы и длины образцов, скорости ультразвука и динамического модуля упругости образцы осматривают и отмечают дефекты. При появлении трещин, сколов и шелушения ребер образцы снимают с испытаний.

Динамический модуль упругости $E_{\text{отн}}$, %, после N циклов замораживания и оттаивания рассчитывают по формуле

$$E_{\text{отн}} = (E_1^2 / E^2) \cdot 100 \text{ или } E_{\text{отн}} = (f_1^2 / f^2) \cdot 100, \qquad (3.13)$$

где E – значение динамического модуля упругости до замораживания;

E_1 – значение динамического модуля упругости после N циклов замораживания и оттаивания;

f – частота собственных поперечных колебаний образца до замораживания;

f_1 – частота собственных поперечных колебаний образца после N циклов замораживания и оттаивания.

Снижение скорости ультразвука в образце $\Delta S_{\text{уз}}$, %, рассчитывают по формуле

$$\Delta S_{\text{уз}} = (S_1^2 / S^2) \cdot 100, \qquad (3.14)$$

где S – скорость ультразвука при сквозном продольном прозвучивании образца до замораживания;

S_1 – скорость ультразвука при сквозном продольном прозвучивании образца после N циклов замораживания и оттаивания.

Относительную деформацию образцов L_c, %, после N циклов замораживания и оттаивания рассчитывают по формуле

$$L_c = \frac{I_2 - I_1}{L_g} \cdot 100, \qquad (3.15)$$

где I_1 – показание индикатора до замораживания, мм;

I_2 – показание индикатора после N циклов замораживания и оттаивания, мм;

L_g – длина образца до замораживания (расстояние между реперами), мм.

Изменение массы образца Δm, %, рассчитывают по формуле

$$\Delta m = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100, \qquad (3.16)$$

где m – масса образца до замораживания и оттаивания, г;

m_1 – масса образца после N циклов замораживания и оттаивания, г.

Образцы признают выдержавшими испытание, если снижение среднего для серии образцов значения скорости ультразвука не превышает 15 % исходного значения, или снижение среднего значения относительного динамического модуля упругости не превышает 25 %, или среднее значение деформаций образцов не превышает 0,1 %, при этом среднее значение уменьшения массы не превышает 2 %, на образцах отсутствуют трещины, сколы, шелушение ребер. Марку бетона по морозостойкости устанавливают по числу циклов замораживания и оттаивания, при котором образцы отвечают указанным выше критериям.

При испытании с применением нескольких способов контроля состояния образцов (скорости ультразвука, динамического модуля упругости, деформаций образцов) марку бетона по морозостойкости устанавливают по каждому среднему значению показателя, после чего принимают минимальную марку из установленных.

Правила определения коэффициентов перехода при испытании образцов бетона на морозостойкость стандартными методами и другими многоцикловыми методами заключаются в следующем.

Коэффициенты перехода устанавливают для каждой марки бетона по морозостойкости, приведенной в табл.3.11. Для установления значений коэффициентов перехода испытывают предлагаемым и стандартным методами по шесть серий образцов.

Образцы каждой серии изготовляют из одной пробы бетонной смеси. Образцы всех серий должны твердеть в одинаковых условиях.

Средняя плотность бетона в каждой серии образцов не должна отличаться более чем на 30 кг/м^3.

Для каждой серии образцов находят значение коэффициента перехода K_j от марки бетона по морозостойкости, определенной предлагаемым методом, к марке бетона, определенной стандартным методом, по формуле

$$K_j = \frac{n_{sj}^0}{n_{sj}}, \tag{3.17}$$

где n_{sj}^0 – среднее число циклов замораживания и оттаивания образцов, при котором достигается предельное значение характеристик образцов при испытании предлагаемым методом;

n_{sj} – среднее число циклов замораживания и оттаивания образцов, при котором достигается предельное значение характеристик образцов при испытании стандартным методом.

Для всех серий образцов вычисляют среднее значение коэффициента перехода $\overline{K}$ по формуле:

$$\overline{K} = \frac{\sum_{j=1}^{n} K_j}{n}, \tag{3.18}$$

где n – число серий образцов.

Среднеквадратическое отклонение σ_n определяют по формуле

$$\sigma_n = \frac{K_{\max} - K_{\min}}{\alpha}, \tag{3.19}$$

где $K_{\max}$ и $K_{\min}$ – максимальное и минимальное значения коэффициента перехода;

α – коэффициент, принимаемый по табл.3.13.

Коэффициент вариации коэффициентов перехода V_k определяют по формуле

$$V_k = \frac{\sigma_n}{\overline{K}}. \tag{3.20}$$

Экспериментально установленный коэффициент перехода $\overline{K}$ может быть использован, если значение коэффициента вариации V_k не превышает 9%.

3.3.2.6. Разрушение бетона под воздействием внешней агрессивной среды

Разрушение бетона под воздействием внешней агрессивной среды называется коррозией. Способность материала сопротивляться разрушительному действию внешней агрессивной среды называется коррозионной стойкостью.

Стойкость бетона к различного рода воздействиям в значительной мере влияет на долговечность выполненных из него конструкций. Степень долговечности конструкций определяется календарным сроком их службы без потери эксплуатационных качеств в конкретных климатических условиях и режиме эксплуатации.

Для железобетонных конструкций нормами предусмотрены три степени долговечности: 1 – соответствует сроку службы не менее 100 лет; 2 и 3 – соответственно не менее 50 и 20 лет. Защита конструкций из бетона и железобетона осуществляется в соответствии с рекомендациями СНиП 2.03.П–85.

Для оценки стойкости бетона по отношению к внешним воздействиям существует многообразие методов, главные из которых основаны на измерении массы образцов, исследовании прочностных и упругих характеристик, определении скорости коррозии и визуальных наблюдениях. Кроме того, этим целям служат исследования фильтрационной способности материала, а также рентгенографический, петрографический и термический анализы.

Определение стойкости бетона к различного рода воздействиям состоит в моделировании последних в ускоренном режиме с тем, чтобы в минимальный срок оценить его долговечность. Ускорение процесса воздействия различных факторов на свойства бетона – чрезвычайно сложная задача, для решения которой используют физико-химические приемы, в частности увеличение реагирующей поверхности исследуемого материала и скорости обмена агрессивного раствора у поверхности материала. Это достигается фильтрацией агрессивного раствора через образец под давлением или под вакуумом, увеличением концентрации агрессивного раствора, попеременным смачиванием материала в агрессивной среде и высушиванием его, испытанием образцов в напряженном состоянии и др.

При определении стойкости бетона руководствуются общими правилами: протекание исследуемых физико-химических или физических процессов должно происходить в условиях, аналогичных натурным, причем в минимальные сроки; исследование должно базироваться на объективных, прямых, количественных и воспроизводимых критериях, определяемых с достаточной точностью и надежностью; полученные

результаты должны позволять моделировать процесс и прогнозировать выраженную в количественной оценке долговечность бетона.

Железобетонные изделия могут эксплуатироваться в различных средах. В одних случаях – это атмосфера, вода, щелочи, кислоты, соли и их растворы, порошкообразные и зернистые материалы, минеральные и органические вещества в твердом и жидком состояниях. В других – различные комбинации указанных сред, а также их сочетание с электрическим током, световыми и радиоактивными излучениями. При этом в каждом отдельном случае среда может содержать один или несколько агентов.

Все среды согласно СНиП 2.03.11–85 «Защита строительных конструкций от коррозии» по степени воздействия на строительные конструкции делятся на неагрессивные (Н), слабоагрессивные (Сл), среднеагрессивные (Ср) и сильноагрессивные (Си). В основу классификации положены относительное снижение прочности материала в зоне коррозии и внешние проявления признаков коррозии в результате эксплуатации изделий в течение одного года (табл.3.15).

Таблица 3.15

Степень воздействия агрессивной среды
на строительные конструкции

Показатели коррозии	Степень агрессивности среды			
	Н	Сл	Ср	Си
Снижение прочности, %	Нет	Менее 5	5–20	Более 20
Внешние признаки	Нет	Слабое поверхностное разрушение (шелушение)	Повреждение углов, появление волосяных трещин	Ярко выраженное разрушение материала (растрескивание)

Все среды по агрессивному состоянию подразделяются на три группы: газообразные, жидкие, твердые.

Газообразные среды. Степень агрессивности газовоздушных сред определяется растворимостью газов в воде, температурой и влажностью среды (СНиП 2.03.11–85).

Наиболее распространенной рабочей средой, в которой хранится и эксплуатируется большинство изделий из цементного камня и бетона, является воздух.

Сухой чистый воздух не вызывает заметных изменений свойств бетона, но при изменении температурно-влажностных условий он может представлять опасность. По величине относительной влажности все разновидности газовоздушных сред в соответствии со СНиП П–3–79

делятся на три зоны: сухую – с относительной влажностью менее 60 %, нормальную – от 61 до 75 % и влажную – более 75 %. Главная опасность повышенного содержания влаги в воздухе заключается в том, что она обусловливает коррозионную активность других примесей.

Наиболее распространены следующие агрессивные газообразные примеси в воздухе: углекислый газ, аммиак, сернистый ангидрид, сероводород, оксиды азота, хлор, хлористый водород, фтористый водород. В зависимости от вида и концентрации газов газовоздушные среды условно делятся на четыре группы: А, Б, С, Д.

Коррозия материалов в газообразных средах не отличается от коррозии в жидкостях, так как химические реакции коррозии протекают чаще всего в пленках влаги. Газ должен раствориться прежде, чем сможет вступить в реакцию с материалом.

Указанные агрессивные газы являются кислыми и при растворении в воде образуют растворы кислот.

Жидкие среды. Для жидких сред степень агрессивного воздействия определяется наличием и концентрацией агрессивных веществ, температурой, напором (или скоростью) движения жидкости у поверхности конструкции и зависит от плотности бетона.

По показателю плотности бетоны условно делятся на три вида, характеризующиеся водосодержанием бетонной смеси при затворении, маркой бетона по водонепроницаемости и водопоглощением бетона по массе (табл. 3.16).

Таблица 3.16

Характеристика бетона в зависимости от плотности

Вид бетона	Характеристика бетона		
	марка по водонепроницаемости	водопоглощение, % (по массе)	Максимально допустимое В/Ц
Нормальной плотности (Н)	W4	4,7–5,7	0,6
Повышенной плотности (П)	W6		0,55
Особо плотный (О)	W8	4,2–4,7	0,45
		до 4,2	

При эксплуатации строительных конструкций на них воздействуют различные жидкие среды: природные и промышленные сточные воды; водные растворы минеральных и органических кислот, щелочей и солей; органические растворители; нефтепродукты.

Чистая, без примесей вода активно взаимодействует с бетоном как растворитель, вызывая коррозию первого вида (выщелачивание). Как правило, любая вода содержит примеси – соли, газы, органические вещества.

Степень агрессивного воздействия жидких сред зависит от концентрации в них водородных ионов pH, содержания свободной углекислоты, магнезиальных солей, едких щелочей, сульфатов.

Наиболее агрессивными по отношению к цементному камню являются минеральные кислоты – соляная, серная и азотная. При воздействии однопроцентных растворов кислот бетон разрушается в течение нескольких месяцев. Менее агрессивна фосфорная кислота. Цементный камень быстро разрушается под воздействием 5 %-го раствора фосфорной кислоты.

Органические кислоты весьма агрессивны к бетону. Агрессивность кислот возрастает с увеличением молекулярной массы. Винная, щавелевая, уксусная, яблочная, масляная и молочная кислоты относятся к кислотам с низкой молекулярной массой, а олеиновая, пальмитиновая и стеариновая – с высокой.

Из природных вод в наибольшей степени агрессивность кислотного характера присуща болотным водам. Соли магния, присутствующие в морской воде и часто в грунтовых и производственных водах, вызывают магнезиальную коррозию цементного камня. Магний находится в воде, как правило, в связанном виде (в сульфатах и хлоридах). Процесс коррозии почти неощутим, если содержание свободных ионов не превышает 200–300 мг/л. Такую среду можно считать неагрессивной.

Скорость протекания коррозии бетона под воздействием щелочей зависит от вида щелочи, концентрации раствора, температуры среды, продолжительности агрессивного воздействия, пористости бетона. При концентрации растворов щелочей до 5 % значительных разрушений цементного камня не наблюдается. Бетоны на портландцементах показывают бульшую стойкость в растворах щелочей, чем бетоны на пуццолановых и шлакопортландцементах.

В природных и некоторых промышленных водах содержатся сульфаты, вызывающие коррозию цементного камня III вида. Коррозия бетона, вызванная действием сульфатов, зависит как от минералогического состава использованного цемента, так и от плотности и структуры бетона. Однако вода – среда, содержащая более 5000 мг/л сульфатов, – агрессивна даже по отношению к особо плотному бетону, приготовленному на сульфатостойком портландцементе.

Кроме водных растворов солей, кислот и щелочей, жидкими агрессивными средами являются также масла, нефтепродукты и растворители. Степень агрессивного воздействия на бетон масел зависит от их происхождения. Растительные и животные масла представляют большую опасность для бетона, чем минеральные. При окислении расти-

тельных и животных масел степень их агрессивности к бетону повышается.

Большинство нефтепродуктов отличается малой агрессивностью, за исключением сырой нефти, которая, будучи многокомпонентным веществом, имеет в своем составе агрессивные составляющие. Некоторые вещества можно считать неагрессивными к бетону, например бензин.

Растворители также практически не агрессивны к бетону, в том числе наиболее распространенные – ацетон и бензол.

Твердые среды. Степень агрессивного воздействия твердых сред (соли, аэрозоли, пыль, грунты) определяется их дисперсностью, растворимостью в воде, гигроскопичностью, влажностью окружающей среды в соответствии со СНиП 2.03.11–85 (табл.3.17).

Таблица 3.17

Показатели агрессивного воздействия твердых сред по отношению к бетону и железобетону

Влажностный режим помещений Зона влажности	Растворимость твердых сред в воде и их гигроскопичность	Степень агрессивного воздействия твердых сред на конструкцию	
		бетон	Железобетон
1	2	3	4
Сухой	Хорошо растворимые малогигроскопичные	Неагрессивная	Слабоагрессивная
Сухая	Хорошо растворимые гигроскопичные	Слабоагрессивная	Среднеагрессивная
Нормальный	Хорошо растворимые малогигроскопичные	Слабоагрессивная	Слабоагрессивная
Нормальная	Хорошо растворимые гигроскопичные	Слабоагрессивная	Среднеагрессивная
Влажный или мокрый	Хорошо растворимые малогигроскопичные	Слабоагрессивная	Среднеагрессивная
Влажная	Хорошо растворимые гигроскопичные	Среднеагрессивная	Сильноагрессивная

В качестве агрессивных солей по отношению к бетону и железобетону следует рассматривать хлориды, сульфаты и нитраты.

По растворимости твердые среды делятся на малорастворимые (менее 2 г/л) и хорошо растворимые (более 2 г/л); по гигроскопичности – на малогигроскопичные, поглощающие влагу при относительной влажности окружающей среды 60 % и более, и гигроскопичные – то же, но менее 60 %.

Воздействие сухих грунтов на бетон незначительно, и их можно считать неагрессивными. Жидкая фаза способствует развитию коррозии.

Методы оценки степени агрессивности сред. Наиболее интенсивно происходит коррозия при наличии жидких сред. Степень агрессивного воздействия жидких сред зависит от концентрации водородных ионов pH.

Концентрация ионов водорода характеризует химическую активность жидких агрессивных сред. В кислой среде концентрация ионов водорода большая, а в щелочной – малая. Поскольку концентрация ионов водорода в растворах слабых кислот очень мала (диссоциация кислоты происходит с образованием ионов водорода H^+) и такими величинами оперировать неудобно, было введено понятие водородного показателя pH-отрицательного десятичного логарифма концентрации водородных ионов

$$pH = -\lg [H^+]. \qquad (3.21)$$

При диссоциации воды выделяются ионы водорода H^+ и гидроксила OH^-

$$H_2O \rightleftarrows H^+ + OH^-. \qquad (3.22)$$

В одном литре воды при 20°C содержится 10^{-7} грамм-ионов водорода и столько же ионов гидроксила. Поэтому для чистой воды

$$pH = -\lg [H^+] = -\lg 10^{-7} = 7. \qquad (3.23)$$

Это значение pH соответствует нейтральной среде, причем произведение $[H^+][OH^-]$ остается постоянным при определенной температуре не только для воды, но и для любого раствора. Поэтому для любого раствора

$$H^+ = \frac{10^{-14}}{[OH^-]} \text{ и } \left[OH^-\right] = \frac{10^{-14}}{[H^+]}, \qquad (3.24)$$

т.е. показатель pH изменяется от 1 до 14. Для кислых растворов pH меньше 7, а для щелочных – больше 7.

В зависимости от значения pH все жидкие среды делятся на пять групп:

кислые – pH = 1...3;
слабокислые – pH = 4...6;
нейтральные – pH = 7;
слабощелочные – pH = 8...10;
щелочные – pH = 11...14.

Индикаторы – это вещества, окраска которых зависит от концентрации водородных ионов в растворе. Сведения об изменении окраски индикаторов представлены в табл.3.18.

Таблица 3.18

Изменение окраски индикаторов

Индикатор	Интервал значений pH	Окраска в среде	
		кислой	Щелочной
Метиловый оранж	3,1–4,4	Красная	Оранжево-желтая
Конго-красный	3,0–5,2	Сине-фиолетовая	Красная
Метиловый красный	4,2–6,3	Красная	Желтая
Лакмус	5,0–8,0	Красная	Синяя
Фенолфталеин	8,2–10,0	Бесцветная	Красная

Краситель лакмус (азолитмин) имеет в кислом растворе красный цвет, в основном – синий. В простейших испытаниях применяется бумага, пропитанная этим веществом, – лакмусовая бумага.

Для определения кислот и оснований лакмус используется редко. Для этой цели обычно применяют индикатор фенолфталеин и метиловый оранж или метиловый красный. Фенолфталеин в кислой среде бесцветен, в основном же имеет красный цвет. Метиловый оранж в кислой среде обладает красным цветом.

Жесткость воды определяется в основном наличием растворенных в ней солей кальция и магния и обозначается в градусах. Один градус жесткости соответствует содержанию 0,01 г окиси кальция или 0,00718 г окиси магния в одном литре воды.

Различают жесткость карбонатную, некарбонатную и общую. Карбонатная жесткость (наличие бикарбонатов и карбонатов кальция и магния) снижается при кипячении воды, поэтому её иногда называют временной.

Некарбонатная жесткость, обусловленная присутствием в воде солей кальция и магния сильных кислот, сохраняется при кипячении (так называемая постоянная жесткость).

Общая жесткость характеризуется общим содержанием в воде солей кальция и магния (состоит из карбонатной и некарбонатной).

При определении агрессивности CO_2 к бетонам следует учитывать временную жесткость воды. Различают воду мягкую – временная жесткость менее 6° (менее 1,1 ммоль/л); средней жесткости – 6–15° (1,1–2,7 ммоль/л); жесткую – 15–24° (2,7-4,3 ммоль/л); весьма жесткую – 24° (свыше 4,3 ммоль/л).

Качественные методы оценки коррозионной стойкости материалов не могут характеризовать полностью процесс старения: они

позволяют лишь прогнозировать характер или интенсивность старения материалов. К ним относятся следующие методы:

1. Оценка изменения внешнего вида образца бетона или изделия после воздействия на него эксплуатационного фактора. Осмотр образца дает возможность во многих случаях установить характер коррозии – равномерный или неравномерный, места расположения продуктов, образующихся при коррозии на поверхности материала, наличие и ширину раскрытия трещин и их направление; степень сцепления продуктов коррозии; изменение цвета и др.

2. Микроскопические исследования внешнего вида образцов после воздействия агрессивной среды осуществляются с помощью луп или микроскопов и позволяют установить наличие и характер очагов коррозии и их строение. Эти исследования дают возможность подвергать материал качественному контролю не только после, но и в процессе разрушения. Производя микроскопические исследования, можно получить данные о начале и характере развития процессов коррозии.

3. Метод микрофотосъемок. Применяя этот метод, можно исследовать кинетику процесса коррозии, возникновение и развитие трещин.

4. Индикаторный метод позволяет также изучить кинетику процессов коррозии. Он основывается на способности некоторых реактивов образовывать с продуктами коррозии окрашенные составы, позволяющие наблюдать глубину проникновения их в корродируемый материал. Используется при исследовании коррозии цементного камня и бетона, металлов, полимерных и других материалов.

Качественные методы помогают делать лишь предварительные выводы о пригодности или непригодности данного материала в определенных условиях, однако эти выводы рекомендуется проверять количественными методами.

Количественные методы оценки коррозионной стойкости материалов делятся на две группы. Одна группа связана с определением изменений в процессе коррозии: массы материала, глубины коррозии; массы продуктов коррозии; доли поверхности, занятой коррозией; времени до появления первой трещины или до полного разрушения; количества язв на единицу площади поверхности; электрического сопротивления материала.

Другая группа связана с определением изменения свойств, характеризующих состояние материалов: прочности, деформации, ползучести, герметичности и т.п.

Группа 1. *Определение изменения массы.* Этот метод основан на определении изменения массы бетонного образца после воздействия на него эксплуатационных факторов. Показателем коррозии материала

является величина K_t, представляющая собой отношение разницы масс образца до и после коррозионного воздействия на него в течение времени t к общей поверхности F или объему

$$K_t^F = \frac{P_0 - P_t}{Ft}, \tag{3.25}$$

$$K_t^V = \frac{P_0 - P_t}{V \cdot t}, \tag{3.26}$$

где K_t^F – средняя скорость старения материала в течение времени t, г/(м^2·ч);

P_0 и P_t – масса образца соответственно до и после воздействия на него эксплуатационного фактора, г;

K_t^V – средняя скорость старения материала в течение времени t, г/(м^3·ч).

По этому показателю стойкость бетона подразделяется на следующие группы (табл.3.19).

Таблица 3.19

Классификация стойкости материалов в зависимости от изменения их массы

Группа стойкости	Потеря массы, г/м^2	Балл
Весьма стойкий	0,10	1
Стойкий	0,10–1,0	2
Сравнительно стойкий	1,0–3,0	3
Малостойкий	3,0–10,0	4
Нестойкий	10,0	5

Определение глубины коррозии, или оценка скорости коррозии, материалов по изменению массы не учитывает плотность материалов. По этой причине данные об изменении массы переводят на так называемый глубинный показатель старения, который характеризует уменьшение толщины сохраняющего свои первоначальные свойства материала.

Для природных и искусственных каменных материалов изменение массы и глубины прореагировавшего с агрессивной средой слоя в зависимости от времени t определяется по формуле

$$L = Kt^n, \tag{3.27}$$

где K и n – константы материала, зависящие от его структуры и свойств, температуры и вида агрессивной среды (для большинства природных, каменных и искусственных материалов n = 0,5).

Определение массы продуктов коррозии, или определение скорости и общего количества выделения продуктов коррозии в рабочую среду, является одним из основных методов расчета долговечности некоторых материалов; с его помощью характеризуется коррозионная стойкость цементного камня и бетона в зависимости от выделения продуктов коррозии с содержанием CaO. Установлено, что снижение прочности этих материалов прямо пропорционально содержанию CaO в гидрооксиде и гидратированных материалах цементного камня.

Группа 2. *Определение потери прочности бетона* (степени коррозионного разрушения) после воздействия на него эксплуатационных агрессивных факторов характеризуется показателем K_t, %

$$K_t = \frac{R_0 - R_t}{R_0} \cdot 100, \qquad (3.28)$$

где R_0 и R_t – прочность бетонных образцов соответственно до и после воздействия на них эксплуатационных факторов в течение времени, МПа.

3.3.3. Механические испытания материалов

3.3.3.1. Методы и средства механических испытаний металлов

Испытания проводят на образцах четырех типов: цилиндрических и призматических (квадратных и прямоугольных), с гладкими торцами I–III типов (рис. 3.4) и торцевыми выточками IV типа (5).

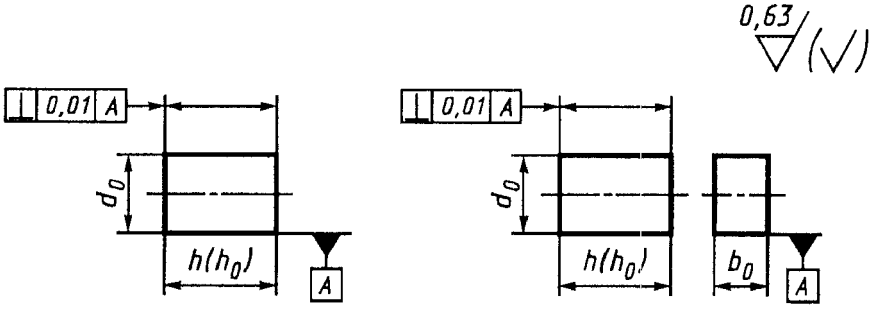


Рис. 3.4. Экспериментальные образцы I–III типов

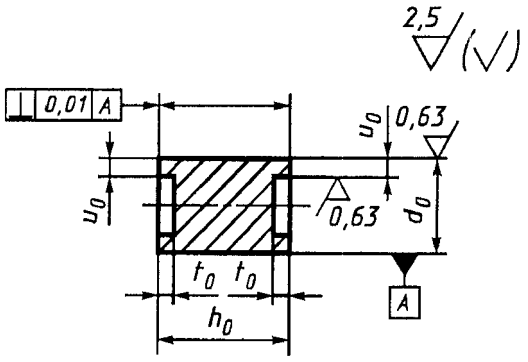


Рис. 3.5. Экспериментальные образцы IV типа

Тип и размер образца выбирают по табл. 3.20.

Таблица 3.20

Тип образца	Начальный диаметр цилиндрического образца d_0, мм	Начальная толщина призматического образца, a_0, мм	Рабочая (начальная расчетная) высота образца $h(h_0)$*, мм	Определяемая характеристика	Примечание
I	20	20	100	Модуль упругости, предел пропорциональности	Рис. 1
II	6 – 30	5 – 30	$h(h_0) = 3d_0$	Предел пропорциональности, предел упругости	
III	6; 10; 15; 20; 25; 30	5; 10; 15; 20; 25; 30	Определяют по прил.А	Физический предел текучести, условный предел текучести. Построение кривой упрочнения до значений логарифмических деформаций эпсилон <= $2/3l\times\ln h_0/d_0$**	
IV	6 10 15 20 25 30	-		Построение кривой упрочнения	Рис. 2 Толщину и высоту буртика определяют по прил.А

* Высоту призматического образца устанавливают исходя из его площади $b\times a$, приравнивая ее к ближайшей площади через d_0.

** Для построения кривых упрочнения применяются только цилиндрические образцы.

Примечание. Ширину призматических образцов b определяют из соотношения $b/a = 1 – 1{,}5$.

Места вырезки заготовок для образцов и направление продольной оси образцов по отношению к заготовке приведены в нормативном документе на правила отбора проб, заготовок и образцов на металлопродукцию. Образцы обрабатывают на металлорежущих станках. Глубина резания при последнем проходе не должна превышать 0,3 мм.

Погрешность измерения диаметра и размеров поперечного сечения призматического образца до испытания не должна быть более, мм:

0,01 – для размеров до 10 мм;

0,05 – для размеров свыше 10 мм.

Измерение диаметра образцов до испытания проводят в двух взаимно перпендикулярных сечениях. Результаты измерений усредняют, вычисляют площадь поперечного сечения образца.

Погрешность измерения высоты образца до испытания не должна быть более, мм:

0,01 – для образцов I и II типов;

0,01 – для образцов III типа, если испытания данного типа образца проводят при деформациях $\varepsilon_l \leq 0{,}002$ и более 0,05 мм для $\varepsilon_l > 0{,}002$;

0,05 – для образцов IV типа.

Испытания проводят на машинах сжатия всех систем и машинах растяжения (зона сжатия), отвечающих требованиям ГОСТ 28840. При проведении испытаний на сжатие испытательная машина должна быть оснащена:

– преобразователем силы и тензометром или преобразователями силы и перемещений с самопишущим прибором – при определении механических характеристик E^c, $\sigma^c_{\text{пц}}, \sigma^c_{0,05}$. При этом установка тензометра проводится на образец в его расчетной части, а самопишущий прибор предназначен для записи диаграммы $F(\Delta h)$;

– преобразователями силы и перемещений с самопишущим прибором – при определении механических характеристик $\sigma^c_T, \sigma^c_{0,2}, \sigma^c_{\text{в}}$ и построении кривой упрочнения на образцах III типа. При этом преобразователь перемещений устанавливают на активном захвате испытательной машины. Допускается измерять абсолютную деформацию (укорочение) образца Δh измерительными приборами и инструментом;

– преобразователем силы и измерительными приборами и инструментом – при построении кривой упрочнения на образцах IV типа.

Число образцов для оценки среднего значения механических характеристик E^c, $\sigma^c_{\text{пц}}, \sigma^c_{0,05}$, $\sigma^c_T, \sigma^c_{0,2}$ и $\sigma^c_{\text{в}}$ должно быть не менее пяти.

Испытания образцов на сжатие проводят в условиях, обеспечивающих минимальный эксцентриситет приложения нагрузки и безопасность проведения экспериментов. Твердость деформирующих плит должна превышать твердость упрочненных во время испытания образцов не менее чем на $5HRC_э$.

Толщину деформирующих плит устанавливают в зависимости от создаваемых усилий в образце и принимают равной 20–50 мм.

Необходимо контролировать соблюдение равномерности деформирования при испытании образцов на сжатие (отсутствие бочкообразования и вогнутости).

При определении модуля упругости E^c, предела пропорциональности $\sigma^c_{пц}$ и упругости $\sigma^c_{0,05}$ контроль осуществляют с помощью приборов, устанавливаемых на противоположных сторонах призматического и цилиндрического образцов, при этом нормируемая разность показаний двух приборов не должна превышать 10 (15) %.

При определении предела текучести σ^c_T, предела прочности $\sigma^c_в$ и при построении кривой упрочнения контроль осуществляют по равенствам для цилиндрических и призматических образцов:

$$\left(\frac{h_0}{h_к}\right)^{0,9} \le \frac{A_к}{A_0}; \left(\frac{h_0}{h_к}\right)^{0,9} \le \frac{A_{кn}}{A_{0n}}, \qquad (3.29)$$

где h_0 – начальная расчетная высота цилиндрического и призматического образцов, по которой определяется укорочение (база тензометра), мм;

$h_к$ – конечная расчетная высота цилиндрического и призматического образцов после испытания до заданной деформации или при разрушении, мм;

A_0 – начальная площадь поперечного сечения цилиндрического образца, мм^2: $A_0 = \frac{\pi d_0^2}{4}$;

$A_к$ – конечная площадь поперечного сечения цилиндрического образца после испытания до заданной деформации или при разрушении, мм^2: $A_к = \frac{\pi d_к^2}{4}$;

$A_{кn}$ – конечная площадь поперечного сечения призматического образца после испытания до заданной деформации или при разрушении, мм^2: $A_{кn} = a_к b_к$, здесь $a_к$ – конечная толщина призматического образца, $b_к$ – конечная ширина призматического образца, мм;

A_{0n} – начальная площадь поперечного сечения призматического образца, мм^2: $A_{0n} = ab$.

При испытании образцов I, II типов торцы образцов обезжиривают.

При испытании образцов на сжатие до предела текучести скорость относительной деформации выбирают от $10^{-3}c^{-1}$ до $10^{-2}c^{-2}$, за пределом текучести – не более $10^{-1}c^{-1}$, а для построения кривых упрочнения устанавливают от $10^{-3}c^{-1}$ до $10^{-1}c^{-1}$. Если выбранная скорость относительной деформации в области текучести не может быть достигнута непосредственно регулированием испытательной машины, то

ее устанавливают от 3 до 30 МПа/с [(от 0,3 до 3 кгс/(мм^2·с))] регулированием скорости нагружения до начала области текучести образца.

Определение механических характеристик. Механические характеристики E^c, $\sigma^c_{пц}, \sigma^c_{0,05}, \sigma^c_T$ определяют:

– с помощью тензометров с ручным и автоматизированным съемом информации (аналитический и расчетный способ обработки);

– по записанной испытательной машиной автодиаграмме в координатах «усилие – абсолютная деформация (P – Δh)» с учетом масштаба записи.

Запись диаграмм выполняется при ступенчатом нагружении с циклами разгрузки и непрерывном приложении возрастающего усилия в диапазонах указанных скоростей нагружения и деформирования. Масштаб записи:

– по оси деформации не менее 100:1;

– по оси нагрузки 1 мм диаграммы должен соответствовать не более 10 МПа (1,0 кгс/мм^2).

Поле записи усилий и деформаций должно быть, как правило, не менее 250×350 мм.

Результаты испытаний каждого образца записывают в протокол испытаний, а результаты испытаний партии образцов – в сводный протокол испытаний

Модуль упругости при сжатии определяют на образцах I типа. Образец нагружают до напряжения $\sigma_0 = 0{,}10\sigma^{c.ож}_{пц}$ (напряжение $\sigma^{c.ож}_{пц}$ соответствует ожидаемому значению предела пропорциональности). При напряжении σ_0 на образец устанавливают тензометры и нагружают ступенчато-возрастающим напряжением до (0,70–0,80) $\sigma^{c.ож}_{пц}$. При этом перепад между соседними ступенями напряжения $\Delta\sigma$ составляет 0,10 $\sigma^{c.ож}_{пц}$.

По результатам испытаний строят диаграмму (рис. 3.6). Модуль упругости при сжатии E^c, МПа (кгс/мм^2), рассчитывают по формуле

$$E^0 = \frac{\Delta F h_0}{\Delta h_{ср} A_0}, \qquad (3.30)$$

где ΔF – ступень нагрузки, Н (кгс);

$\Delta h_{ср}$ – средняя абсолютная деформация (укорочение) образца при нагружении на ΔF, мм.

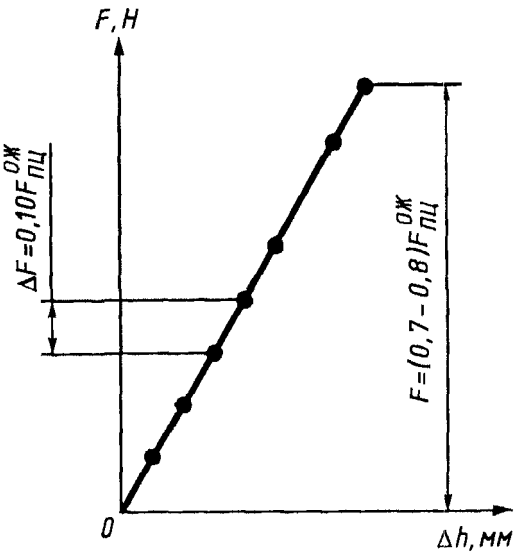


Рис. 3.6. Диаграмма испытаний для определения модуля упругости при сжатии

Для определения модуля упругости при сжатии по диаграмме $F(\Delta h)$, записанной на самопишущем приборе, образец нагружают непрерывно до σ = (0,7 – 0,8) $\sigma_{пц}^{с.ож}$. Напряжение $\sigma_{пц}^{с.ож}$ соответствует ожидаемому значению предела пропорциональности.

По диаграмме, используя формулу (3.30), определяем модуль упругости при сжатии E^c.

Предел пропорциональности при сжатии определяют на образцах I и II типов. Порядок испытаний образца и методика построения диаграммы по показаниям преобразователя силы и тензометра приведены ниже.

Образец нагружают до напряжения σ_0 = 0,10 $\sigma_{пц}^{с.ож}$ (напряжение $\sigma_{пц}^{с.ож}$ соответствует ожидаемому значению предела пропорциональности).

При напряжении σ_0 на образец устанавливают тензометр и нагружают ступенчато-возрастающим напряжением до (0,70 – 0,80) $\sigma_{пц}^{с.ож}$, при этом перепад между соседними ступенями напряжения $\Delta\sigma$ составляет (0,10 – 0,15) $\sigma_{пц}^{с.ож}$. Далее образец нагружают ступенями напряжения, равными 0,02 $\sigma_{пц}^{с.ож}$. Когда значение абсолютной деформации (укорочение) образца Δh на ступени напряжения, равной 0,02 $\sigma_{пц}^{с.ож}$, превысит среднее значение абсолютной деформации (укорочение) образца Δh (при той же ступени напряжения) на начальном линейном упругом участке в 2, 3 раза, испытания прекращают.

По результатам испытаний строят диаграмму и определяют предел пропорциональности при сжатии (рис. 3.7). При построении диаграммы проводят прямую *OM*, совпадающую с начальным прямолинейным участком. Через точку *O* проводят ось ординат *OF*, а затем – прямую *AB* на произвольном уровне, параллельную оси абсцисс. На этой прямой откладывают отрезок *KN*, равный половине отрезка *AK*. Через точку *N* и начало координат проводят прямую *ON* и параллельно ей касательную *CD* к кривой. Точка касания определяет нагрузку $F_{пц}$, соответствующую пределу пропорциональности при сжатии $\sigma^{c}_{пц}$, МПа (кгс/мм^2), рассчитанному по формуле

$$\sigma^{c}_{пц} = \frac{F_{пц}}{A_0}. \qquad (3.31)$$

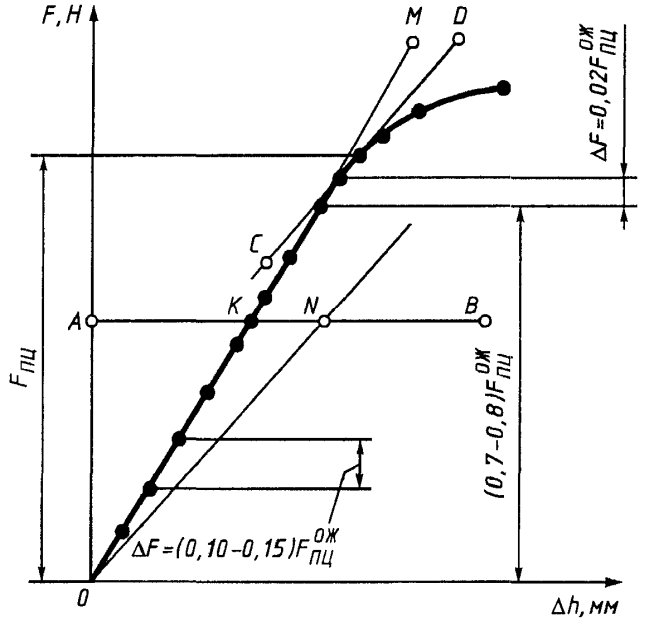


Рис. 3.7. Диаграмма испытаний для определения предела пропорциональности при сжатии

Для определения предела пропорциональности при сжатии по диаграмме $F(\Delta h)$, записанной на самопишущем приборе, образец нагружают непрерывно до напряжения, превышающего ожидаемое значение предела пропорциональности $\sigma^{с.ож}_{пц}$. По диаграмме, используя формулу (3.31) и проведя приведенные выше построения, определяют предел пропорциональности при сжатии $\sigma^{c}_{пц}$.

Предел упругости при сжатии $\sigma^{c}_{0,05}$ определяют на образцах II типа. Порядок испытаний по показаниям преобразователя силы и тензометра приведен ниже.

Образец нагружают до напряжения 0,10 $\sigma_{0,05}^{с.ож}$ (напряжение соответствует ожидаемому значению предела упругости при сжатии).

При напряжении σ_0 на образец устанавливают тензометр и нагружают ступенчато-возрастающим напряжением до (0,70 – 0,80) $\sigma_{0,05}^{с.ож}$. При этом перепад между соседними ступенями напряжения $\Delta\sigma$ составляет (0,10 – 0,15) $\sigma_{0,05}^{с.ож}$. Далее с напряжения (0,70 – 0,80) $\sigma_{0,05}^{с.ож}$ образец нагружают ступенями напряжения, равными 0,05 $\sigma_{0,05}^{с.ож}$. Испытания прекращают, когда остаточное укорочение образца превысит заданное значение допуска.

По результатам испытаний строят диаграмму и определяют предел упругости при сжатии (рис. 3.8).

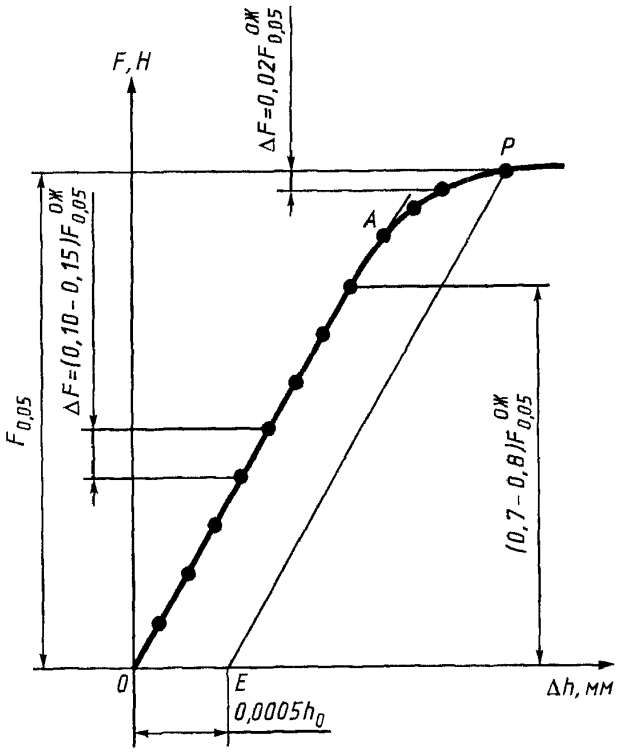


Рис. 3.8. Диаграмма испытаний для определения предела упругости при сжатии

Для определения нагрузки $F_{0,05}$ рассчитывают абсолютную деформацию (укорочение образца) Δh, исходя из базы тензометра. Найденное значение увеличивают пропорционально масштабу диаграммы по оси абсолютной деформации и отрезок полученной длины *OE* откладывают по оси абсцисс вправо от точки *O*. Из точки *E* проводят прямую *EP*, параллельную прямой *OA*. Точка пересечения *P* с диаграммой

определяет высоту ординаты, т.е. нагрузку $F_{0,05}$, соответствующую пределу упругости при сжатии $\sigma_{0,05}$, МПа (кгс/мм^2), рассчитанному по формуле

$$\sigma^c_{0,05} = \frac{F_{0,05}}{A_0}. \qquad (3.32)$$

Для определения предела упругости при сжатии $\sigma^c_{0,05}$ по диаграмме $F(\Delta h)$, записанной на самопишущем приборе , образец нагружают непрерывно до напряжения, превышающего ожидаемое значение предела упругости $\sigma^{c.ож}_{0,05}$. По диаграмме, используя формулу (3.32), определяют предел упругости при сжатии $\sigma^{c.ож}_{0,05}$.

Предел текучести (физический) при сжатии σ^c_T определяют на образцах III типа.

Образец непрерывно нагружают до напряжения, превышающего ожидаемое значение $\sigma^{c.ож}_T$, и записывают диаграмму на самопишущем приборе.

Пример определения нагрузки F_T, соответствующей пределу текучести (физическому), приведен на рис. 3.9.

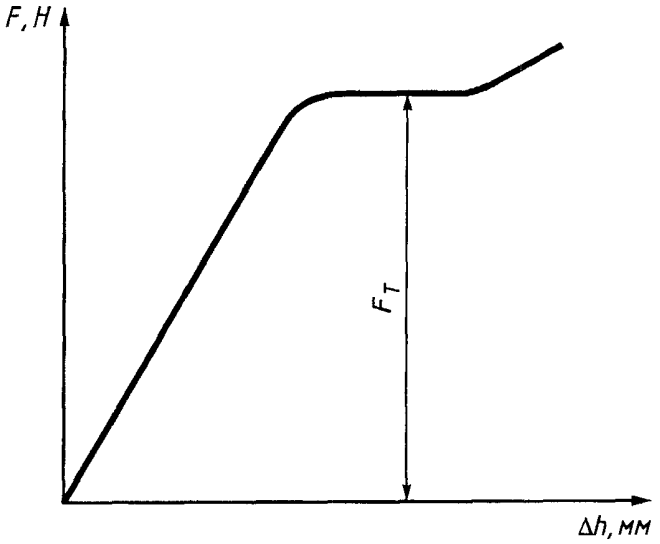


Рис. 3.9. Определение нагрузки F_T, соответствующей пределу текучести при сжатии

Предел текучести (физический) σ^c_T, МПа (кгс/мм^2), рассчитывают по формуле

$$\sigma^c_T = \frac{F}{A_0}. \qquad (3.33)$$

Условный предел текучести при сжатии $\sigma^{c}_{0,2}$ определяют на образцах III типа.

Образец непрерывно нагружают до напряжения, превышающего ожидаемое значение условного предела текучести $\sigma^{c.ож}_{0,2}$, и записывают диаграмму на самопишущем приборе .

Масштаб по оси деформации не менее 100:1, а по оси нагрузки – 1 мм диаграммы должен соответствовать не более 10 МПа (1,0 кгс/мм^2). Допускается определение $\sigma^{c}_{0,2}$ по диаграммам, записанным с масштабом по оси удлинений 50:1 и 10:1, если исходная высота образца больше или равна 25 и 50 мм, соответственно. Полученную диаграмму перестраивают с учетом жесткости испытательной машины. По диаграмме (рис. 3.10) определяют нагрузку, соответствующую условному пределу текучести (физическому) при сжатии $\sigma^{c}_{0,2}$, рассчитанному по формуле

$$\sigma^{c}_{0,2} = \frac{F_{0,2}}{A_0}. \qquad (3.34)$$

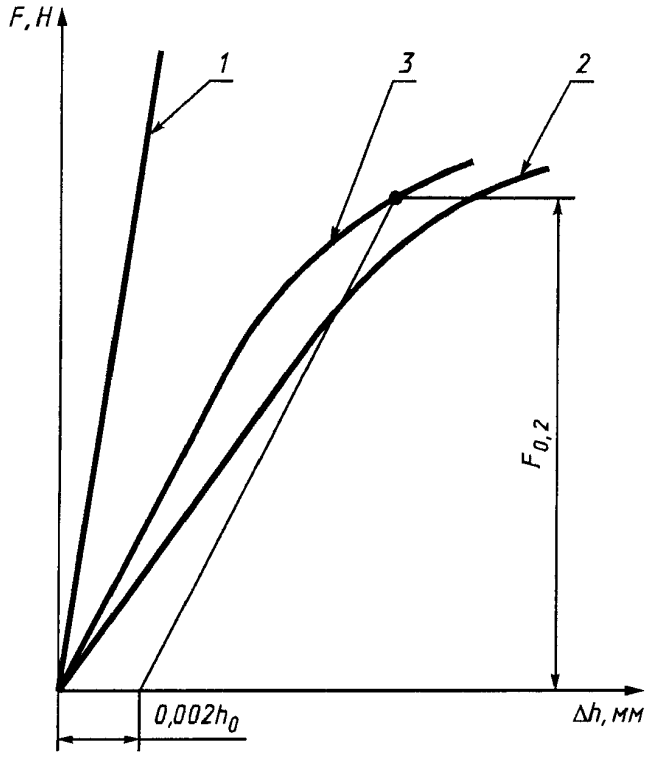


Рис.3. 10. Диаграмма испытаний для определения условного предела текучести при сжатии:
1 – характеристика жесткости испытательной машины; 2 – диаграмма $F(\Delta h)$, записанная на самопишущем приборе; 3 – диаграмма $F(\Delta h)$, записанная с учетом жесткости испытательной машины

По результатам испытаний строят диаграмму $F(\Delta h)$ (рис. 3.11) и определяют нагрузку, соответствующую условному пределу текучести при сжатии.

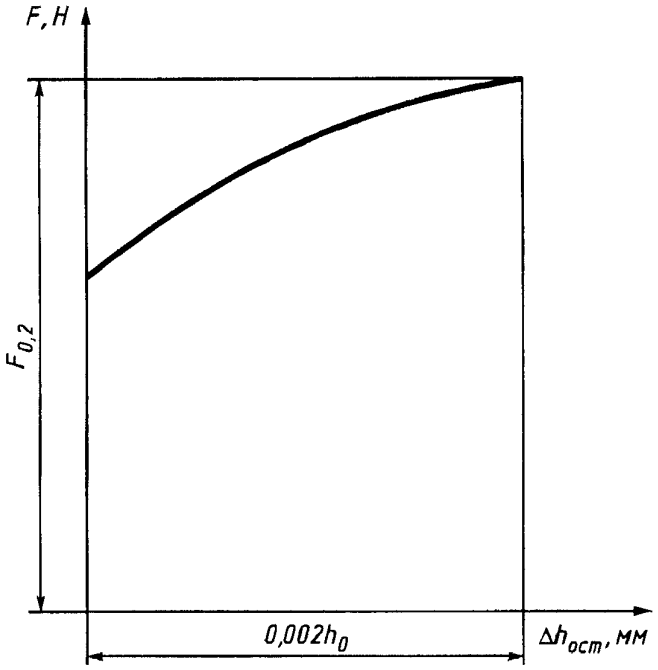


Рис. 3.11. Диаграмма испытаний для определения условного предела текучести при сжатии:
$\Delta h_{ост}$ – абсолютная остаточная деформация (укорочение) образца

Предел прочности при сжатии $\sigma_в^c$ определяют на образцах III типа.

Образец непрерывно нагружают до разрушения. Наибольшую нагрузку, предшествующую разрушению образца, принимают за нагрузку F_{max}, соответствующую пределу прочности при сжатии $\sigma_в$, МПа (кгс/мм^2), рассчитанному по формуле

$$\sigma_e = \frac{F_{max}}{A_0}. \qquad (3.35)$$

3.3.3.2. Методика оценки прочности строительных материалов

Предел прочности при осевом сжатии – основная характеристика качества природных и искусственных каменных материалов (бетона, раствора, кирпича, керамических камней для стен) (табл. 3.21).

Форма и размеры стандартных образцов для испытания на сжатие приведены в табл. 3.21, 3.22. За базовый принимают образец с размерами рабочего сечения 150×150 мм.

Предел прочности при осевом растяжении $R_р$ является основной характеристикой прочности металлов, рулонных гидроизоляционных и

кровельных материалов; регламентированы марки по прочности на растяжение гидротехнического бетона. Размеры стандартных образцов строительных материалов при испытании на растяжение приведены в табл. 3.21. Стандартизованы прямой и косвенный методы определения прочности $R_Р$ при растяжении.

При испытании на осевое растяжение образец закрепляют в разрывной машине так, чтобы его геометрическая ось проходила через центр шарниров захватов. Напряжение в образце при нагружении должно возрастать непрерывно с постоянной скоростью (0,05±0,02) МПа в секунду до разрушения образца.

Таблица 3.21

Определение прочности строительных материалов при сжатии с помощью стандартных методов

Образец	Эскиз	Расчетная формула	Материал	Размер стандартного образца, см
Куб	*a*	$R = \frac{P}{a^2}$	Бетон Раствор Природный камень	15×15×15 7,07×7,07×7,07 5×5×5; 10×10×10; 15×15×15; 20×20×20
Цилиндр	*d* *h*	$R = \frac{4P}{\pi d^2}$	Бетон Природный камень	*d*=15, *h*=30 *d*=*h*=5; 7; 10; 15
Призма	*h* *a*	$R_{пр.} = \frac{P}{a^2}$	Бетон Древесина (вдоль волокон)	*a*=15, *h*=60 *a*=2, *h*=3
Составной образец		$R=\frac{P}{F}$	Кирпич	*a*=12, *h*=14
Половинка образца-балочки		$R=\frac{P}{25}$ $R=\frac{P}{225}$	Цемент Бетон	*a*=4, *S*=25 см^2 *a*=15, *S*=225 см^2
Проба щебня (гравия) в цилиндре		$Д_р=\frac{m_1-m_2}{m_1}100$	Крупный заполнитель для бетона	*d*=15, *h*=15

Таблица 3.22

Бетонные образцы

Вид испытания	Форма образца	Геометрические размеры образца, мм
1	2	3
Определение прочности на сжатие и на растяжение при раскалывании	Куб	Длина ребра 70; 100; 150; 200; 300
	Цилиндр	Диаметр d=70; 100; 1504; 200; 300; высота $h=d$ или $2d$
Определение прочности на осевое растяжение	Восьмерка	Размер рабочего сечения средней части: 100×100; 150×150; 200×200
	Призма квадратного сечения	100×100×400 150×150×600 200×200×800
	Цилиндр	d=70; 100; 150; 200; 300; высота $h = d$ или $2d$
Определение прочности на растяжение при изгибе	Призма квадратного сечения	100×100×400 150×150×600 200×200×800

Ввиду отсутствия надежного метода определения сопротивления бетона осевому растяжению стандарт предусматривает косвенное определение $R_р$ по результатам испытаний образцов-кубов и цилиндров на раскалывание.

Во время испытаний образцов на растяжение при раскалывании их устанавливают на плиты пресса, применяя дополнительно стальные цилиндры или полуцилиндры диаметром (150±10) мм и длиной не менее длины ребра образца-куба.

Предел прочности на растяжение при изгибе $R_{р.и}$ вместе с показателем прочности при сжатии определяет марку цемента, строительного гипса, кирпича; он является необходимой характеристикой дорожного бетона. Предел прочности материалов в изделиях типа плит (ДВП, ДСП, пенопластов, асбестоцементных листов и т.п.) оценивают в основном по $R_{р.и}$. Образец материала испытывают на изгиб по стандартной схеме балки, свободно опирающейся на две опоры и загружаемой одной сосредоточенной силой по середине пролета либо двумя сосредоточенными силами, точки приложения которых делят пролет между опорами на три равные части.

Например, предел прочности кирпича при изгибе определяют по схеме балки, свободно лежащей на двух опорах, к которой в середине пролета между опорами прилагается сосредоточенная нагрузка. На грани кирпича наносят из цементного раствора три выравнивающие полоски шириной 2–3 см каждая: одну по середине верхней грани, а

две – по краям нижней (противоположной) на расстоянии 20 см между осевыми линиями этих полосок. Благодаря этому образец полностью опирается на стальные опоры и воспринимает разрушающую нагрузку по всей ширине. После нанесения полосок кирпич выдерживают в течение 3–4 суток при (15±5) °С. Перед испытанием измеряют ширину и толщину кирпича в середине пролета, а затем укладывают его на опоры (выравнивающими цементными полосками вниз). В качестве опор применяют или цилиндрические катки диаметром 20–30 мм или призмы с закругленными ребрами. Нагрузка передается также через ролик или призму с закругленным ребром. Предел прочности при изгибе

$$R_{\text{и}} = \frac{3pl}{2bh^2}, \quad (3.36)$$

где P – разрушающая нагрузка;
l – длина пролета между опорами;
b и h – соответственно ширина и высота (толщина) кирпича.

Предел прочности бетона вычисляют для каждого образца по формулам:

на сжатие $$R = \alpha \frac{P}{F} K_{\omega}, \quad (3.37)$$

на осевое растяжение $$R_{\text{р}} = \beta \frac{P}{F} K_{\omega}, \quad (3.38)$$

на растяжение при раскалывании $$R_{\text{р.р}} = \gamma \frac{2P}{\pi F} K_{\omega}, \quad (3.39)$$

на растяжение при изгибе $$R_{\text{р.и}} = \delta \frac{PI}{ab^2} K_{\omega}, \quad (3.40)$$

где R – прочность бетона на сжатие;
$R_{\text{р}}$ – прочность бетона на осевое растяжение;
$R_{\text{р.р}}$ – прочность бетона на растяжение при раскалывании;
$R_{\text{р.и}}$. – прочность бетона на растяжение при изгибе;
P – разрушающая нагрузка;
F – средняя площадь рабочего сечения образца, определяемая по результатам измерения как среднее арифметическое значение площадей двух противоположных граней;
a, b, l – соответственно ширина, высота призмы и расстояние между опорами при испытании образцов на растяжение при изгибе;

$\alpha,\beta,\gamma,\delta$ – масштабные коэффициенты прочности бетона в образцах базового размера,

K_w – поправочный коэффициент, учитывающий влажность бетона образца.

Призменную прочность, модуль упругости и коэффициент Пуассона определяют на образцах-призмах квадратного сечения или цилиндрах круглого сечения с отношением высоты к ширине (диаметру), равным 4. Ширина (диаметр) образцов должна приниматься равной 70, 100, 150, 200 или 300 мм в зависимости от назначения и вида конструкций и изделий. За базовый принимают образец размерами 150×150×600 мм.

Для измерения деформаций применяют тензометры и другие приборы, обеспечивающие измерение относительных деформаций с точностью не ниже $1 \cdot 10^{-5}$. Тензометры и индикаторы для измерения деформации устанавливают на образце с помощью прижимных приспособлений (рамок, струбцин, опорных вставок). Прижимные приспособления должны обеспечивать неизменное положение тензометров и индикаторов относительно образца в процессе измерения деформации.

Перед испытанием образцы осматривают, устраняют имеющиеся дефекты, измеряют линейные размеры, проверяют отклонение формы и размеров. На боковых поверхностях образцов размечают центральные линии для установки приборов для измерения деформаций и центрирования образцов по оси испытательной машины (пресса). По центральным линиям размечают базы измерения продольных и поперечных деформаций образцов. База измерения деформаций должна в 2,5 раза и более превышать наибольший размер зерен заполнителя и быть не менее 50 мм при использовании тензорезисторов и 100 м — при использовании других приборов для измерения деформаций.

База измерения продольных деформаций должна быть не более 2/3 высоты образца и располагаться на одинаковом расстоянии от его торцов.

Приборы для измерения деформаций образцов устанавливают по четырем его граням или по трем-четырем образующим цилиндра, развернутым под углом 120 или 90°. Приборы для измерения поперечных деформаций должны быть установлены по середине высоты образца перпендикулярно базам измерения продольных деформаций. Перед наклеиванием поверхность образца обезжиривают органическим растворителем.

Перед испытанием образец с приборами устанавливают центрально по разметке плиты пресса и проверяют совмещение начального отсчета

с делением шкалы прибора. Начальное усилие обжатия образца, которое в последующем принимают за условный нуль, должно быть не более 2 % от ожидаемой разрушающей нагрузки. При центрировании образцов необходимо, чтобы в начале испытания от условного нуля до нагрузки, равной (40 ± 5 %) $P_р$, отклонения деформаций по каждой грани (образующей) не превышали 15 % от их среднего арифметического значения.

При определении призменной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона бетона нагружение образца до уровня нагрузки, равной (40 ± 5 %) $P_р$, производят ступенями, равными 10 % ожидаемой разрушающей нагрузки, сохраняя в пределах каждой ступени скорость нагружения (0,6 ± 0,2) МПа/с.

На каждой ступени производят выдержку нагрузки от 4 до 5 мин (при нагреве до 15 мин) и записывают отсчеты по приборам в начале и в конце выдержки ступени нагрузки в журнал. При уровне нагрузки, равной (40 ± 5 %) $P_р$, снимают приборы с образца, если нет других требований, предусмотренных программой испытания. После снятия приборов дальнейшее нагружение образца следует производить непрерывно с постоянной скоростью.

Призменную прочность $R_{пр}$ вычисляют для каждого образца по формуле

$$R_{пр} = \frac{P_р}{F}, \qquad (3.41)$$

где $P_р$ — разрушающая нагрузка, измеренная по шкале силоизмерителя пресса (машины);

F — среднее значение площади поперечного сечения образца, определяемое по его линейным размерам.

Модуль упругости $E_б$ вычисляют для каждого образца при уровне нагрузки, составляющей 30 % от разрушающей, по формуле

$$E_б = \frac{\sigma_1}{\varepsilon_{1у}}, \qquad (3.42)$$

где $\sigma_1 = P_1/F$ — приращение напряжения от условного нуля до уровня внешней нагрузки, равной 30 % от разрушающей;

P_1 — соответствующее приращение внешней нагрузки;

$\varepsilon_{1у}$ — приращение упругомгновенной относительной продольной деформации образца, соответствующее уровню нагрузки $P_1 = 0{,}3P_р$ и замеренное в начале каждой ступени ее приложения.

Коэффициент Пуассона бетона вычисляют для каждого образца при уровне нагрузки, составляющей 30 % от разрушающей по формуле

$$\mu = -\frac{\varepsilon_{2y}}{\varepsilon_{1y}}, \qquad (3.43)$$

где ε_{2y} — приращение упруго-мгновенной относительной поперечной деформации образца, соответствующее уровню нагрузки $P_1 = 0{,}3\ P_p$ и замеренное в начале каждой ступени ее приложения.

Значения ε_{1y} и ε_{2y} определяют по формулам:

$$\varepsilon_{1y} = \varepsilon_1 - \sum \varepsilon_{1n}; \quad (3.44)$$

$$\varepsilon_{2y} = \varepsilon_2 - \sum \varepsilon_{2n}, \quad (3.45)$$

где ε_1 и ε_2 — приращения полных относительных продольных и поперечных деформаций образца, соответствующие уровню нагрузки $P_1 = 0{,}3P_p$ и замеренные в конце ступени ее приложения;

$\sum \varepsilon_{1n}$ и $\sum \varepsilon_{2n}$ — приращения относительных продольных и поперечных деформаций быстронатекающей ползучести, полученные при выдержках нагрузки на ступенях нагружения до уровня нагрузки $P_1 = 0{,}3\ P_p$.

Приращения относительных продольных и поперечных деформаций вычисляют как среднее арифметическое показаний приборов по четырем граням призмы или трем-четырем образующим цилиндра.

Значения относительных деформаций определяют по формулам:

$$\varepsilon_1 = \Delta l_1 / l_1; \qquad (3.46)$$

$$\varepsilon_2 = \Delta l_2 / l_2, \qquad (3.47)$$

где $\Delta l_1, \Delta l_2$ – абсолютные приращения продольной и поперечной деформаций образца, вызванные соответствующим приращением напряжений;

l_1, l_2 — фиксированные базы измерения продольной и поперечной деформации образца.

При использовании тензорезисторов и других аналогичных приборов, шкалы которых проградуированы в относительных единицах деформаций, величины ε_1 и ε_2 определяют непосредственно по шкалам измерительных приборов.

3.3.3.4. Методы определения твердости

Под твердостью материала понимают его способность оказывать сопротивление проникновению в него другого, более твердого тела. Твердость является важным свойством материала; кроме того, твердость позволяет судить о прочности материала.

Существует несколько способов оценки твердости. Твердость природных каменных материалов оценивают шкалой Мооса, представленной десятью минералами, каждый из которых последующим своим острым концом царапает все предыдущие.

1. Тальк – легко царапается ногтем.
2. Гипс – царапается ногтем.
3. Кальцит – легко царапается стальным ножом.
4. Флюорит (плавиковый шпат) – царапается стальным ножом под небольшим нажимом.
5. Апатит – царапается стальным ножом под сильным нажимом.
6. Ортоклаз – легко царапает стекло
7. Кварц – то же.
8. Топаз – то же.
9. Корунд – то же.
10. Алмаз – то же.

Для определения твердости металлов существует несколько способов, с помощью которых производится вдавливание стального шарика (метод Бринелля) или алмазной пирамиды (метод Виккерса, метод Роквелла) в испытываемый металл.

Если вдавливать испытуемый материал силой P стальной закаленный шарик диаметром D, то шарик проникнет на некоторую глубину h в металл и оставит в нем вследствие пластической деформации испытуемого материала отпечаток в виде круглой луночки диаметром d. Величина, характеризующая твердость, или, как говорят, число твердости по Бринеллю (H_B), представляет отношение силы P, с которой вдавливался шарик, к площади поверхности f лунки, оставшейся после вдавливания на испытуемом металле:

$$H_B = \frac{P}{f} = \frac{P}{\frac{\pi D}{2}\left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)}. \qquad (3.48)$$

Испытания на твердость часто проводят на готовых изделиях. Толщина бывает различна: чем меньше толщина, тем меньшего диаметра берется шарик и тем меньшей силой он вдавливается в деталь. Для получения одинаковых чисел в случае одного и того же материала

необходимо, чтобы силы нажатия на шарик были пропорциональны квадратам диаметров шариков, т.е.

$$\frac{P_1}{p_2} = \frac{D_1^2}{D_2^2} = \frac{d_1^2}{d_2^2}. \qquad (3.49)$$

В зависимости от толщины изделия обычно применяются шарики различных диаметров. Для сталей зависимость между числом твердости H_B и пределом прочности выражается приближенно так:

$$\sigma_{пр} = 0{,}36 H_B. \qquad (3.50)$$

В табл. 3.23 даны значения твердости по Бринеллю для некоторых материалов.

Таблица 3.23

Значения твердости по Бринеллю для некоторых материалов

Материал	Твердость по Бринеллю H_B (кг/мм^2)	Материал	Твердость по Бринеллю H_B (кг/мм^2)
Сталь	150–300	Медь	60
Сталь закаленная	до 850	Белый металл (для подшипников)	20–28
Чугун	130–300		
Алюминий катаный	45		

Испытываемый образец (деталь) устанавливают на столе в нижней части неподвижной станины пресса, зашлифованной поверхностью кверху. Поворотом вручную маховика по часовой стрелке столбик прибора поднять так, чтобы шарик мог вдавиться в испытуемую поверхность. В прессах с электродвигателем вращают маховик до упора и нажатием кнопки включают двигатель.

Двигатель сначала перемещает коромысло и постепенно нагружается шток, а, следовательно, и вдавливается шарик под действием нагрузки, сообщаемой привешенным к коромыслу грузом. Эта нагрузка действует в течение определенного времени, обычно 10–60 с, в зависимости от твердости измеряемого материала, после чего вал двигателя, вращаясь в обратную сторону, соответственно перемещает коромысло и снимает нагрузку. После автоматического выключения, поворачивая маховик против часовой стрелки, отпускают столик прибора и затем снимают образец. Регулировкой реле двигателя можно изменять время приложения нагрузки.

В образце остается отпечаток со сферической поверхностью (лунка). Диаметр отпечатка измеряют лупой, на окуляре которой нанесена шкала с делениями, соответствующими десятым долям миллиметра.

Диаметр отпечатка измеряют с точностью до 0,05 мм (при вдавливании шарика диаметром 10 и 5 мм) в двух взаимно перпендикулярных направлениях; для определения твердости следует принимать среднюю из полученных величин.

При измерениях расстояние от центра получаемого отпечатка до края образца должно быть не менее двух диаметров отпечатка во избежание искажения результатов из-за «выпучивания» края образца. Каждое последующее измерение надо проводить на расстоянии не меньше двух диаметров предыдущего отпечатка.

Твердость лакокрасочных покрытий определяют на маятниковом приборе МЭ-3 или М-3 по методу затухания колебаний маятника, касающегося поверхности пленки. Твердость оценивают в условных единицах, соответствующих отношению времени затухания колебаний маятника, установленного на лакокрасочной пленке, ко времени затухания колебаний того же маятника, установленного на пластинке из фотостекла.

$$\text{Н} = \frac{t}{t_1}, \tag{3.51}$$

где t – время затухания колебаний маятника от 5 до 2° на испытуемой лакокрасочной пленке, с;

t_1 – «стеклянное число» или время затухания колебаний маятника от 5 до 2° на пластинке из фотостекла, с.

Перед началом измерений проверяют маятниковый прибор по «стеклянному числу» на пластинке из фотостекла размером 90×120 мм и регулируют прибор до получения величины «стеклянного числа» в пределах 434–446 с.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Приведите классификацию средств измерений.

2. Дайте определения понятиям: средства измерений, измерительные преобразователи, меры, измерительные системы, измерительные установки.

3. Какие методы измерений Вам известны?

4. Каковы принципы выбора средств измерений?

5. Перечислите известные вам средства измерения массы.

6. Перечислите известные вам средства измерения геометрических размеров.

7. Какие механические средства измерения длины вам известны?

8. Какова методика измерений размеров штангенприборами?

9. Какова методика измерений размеров микрометром?

10. Какие рычажно-механические приборы вам известны? Для чего они предназначены?

11. Для измерения каких величин предназначены тензометры?

12. Опишите метод определения деформаций образцов с помощью тензометров.

13. Опишите метод измерения длины оптико-механическими средствами измерения.

14. Какие средства и методы измерения углов вам известны?

15. Какие параметры установлены для количественного описания шероховатости.

16. Приведите оптическую схему интерферометра.

17. Приведите схему, лежащую в основе растровых приборов для измерения неровностей.

18. Для чего предназначены технические уровни?

19. Приведите схему цифрового отсчетного устройства.

20 Какие методы и средства измерения температуры вам известны?

21 Какие методы и средства измерения времени вам известны?

22. Приведите единицы электрических и магнитных величин.

23. Приведите классификацию электроизмерительных приборов.

24. Каковы методы измерения тока и напряжения?

25. Опишите метод измерение постоянного магнитного потока баллистическим гальванометром.

26. Приведите схему измерения силы света посредством фотометрической скамьи.

27. Приведите методы измерения яркости.

28. Приведите виды неразрушающего контроля в зависимости от физических явлений.

29. Приведите классификацию методов неразрушающего контроля в зависимости от характера взаимодействия физических полей или веществ с контролируемым объектом.

30. Приведите классификацию методов неразрушающего контроля в зависимости от первичного информативного параметра.

31. Приведите классификацию методов неразрушающего контроля в зависимости от способа получения первичной информации.

32. Опишите акустический метод оценки физико-механических характеристик материала элементов технических систем. Укажите средства измерений.

33. Опишите акустический звуковой метод определения открытой пористости огнеупорных изделий

34. Опишите акустический эхо-метод определения напряжений в материале трубопроводов в условиях упругой деформации.

35. Опишите методы ультразвукового контроля стыковых, угловых соединений в сварных конструкциях из металлов для выявления дефектов.

36. Для определения каких характеристик свойств металлопродукции применяют магнитный метод неразрушающего контроля?

37. Какие радиационные методы дефектоскопии вам известны?

38. Какие схемы контроля стыковых, нахлесточных, угловых и тавровых соединений при радиографическом методе вам известны?

39. Какие методы теплового неразрушающего контроля вам известны?

40. Какие методы оптического неразрушающего контроля вам известны?

41. Какие средства оптического неразрушающего контроля вам известны?

42. Какие средства теплового неразрушающего контроля вам известны?

43. Дайте определение понятию « испытание».

44. Дайте определение понятию « контроль».

45. Назовите классы факторов, действующих на объекты.

46. Назовите группы, на которые делится класс климатических испытаний.

47. Как классифицируются режимы эксплуатации по времени и характеру?

48. Какие виды энергий могут воздействовать на объекты?

49. Что исследуют при испытании материалов?

50. Какие механические факторы могут воздействовать на объект?

51. Какие способы испытаний возможны?

52. Поясните важность рациональной последовательности испытаний.

53. Классификация испытаний по продолжительности действия.

54. Классификация испытаний по степени воздействия.

55. Классификация испытаний по стадиям жизненного цикла.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Измерение как задача количественного сравнения однородных физических величин широко используется во всех областях науки и техники. Во многих случаях точность измерения определяет качество выполнения поставленных задач в научных исследованиях, производстве и т.д. Проблема качества продукции требует взаимодействия ученых, инженеров, менеджеров. Не рассматривая вопросы организации менеджмента качества на предприятии, авторы уделили внимание средствам оценки качества продукции. Создание новых современных технологий ставит новые задачи по обеспечению высокой точности, достоверности, сопоставимости измерений. Будущему инженеру необходимо овладеть техникой измерения.

В строительстве для оценки качества строительных материалов, изделий и конструкций применяют большое число разнообразных средств и методов измерений. Приведенные в пособии сведения о методах и средствах измерений позволят сделать правильный выбор при выполнении задачи оценки качества продукции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Берков, В.И. Технические измерения [Текст]: учеб. пособие для СПТУ / В.И. Берков . – 4-е изд. – М.: Высш. шк., 1988 – 128 с.

2. Тартаковский, Д.Ф. Метрология. стандартизация и технические средства измерений [Текст]: учебник для вузов / Д.Ф. Тартаковский, А.С. Ястребов. – М.: Высш.шк., 2002 – 205 с.

3. Бескоровайный П.М, Широков Н.Г. Электрические измерения. – М.: Машиностроение, 1971. – 360 с.

4. Атамалян, Э.Г. Методы и средства измерения электрических величин [Текст]: учеб. пособие для втузов / Э.Г. Атамалян, Ю.В. Портной, Ю.Д. Чепурнова. – М.: Высш.шк., 1974. – 200 с.

5. Эпштейн, М.И. Измерение оптического излучения в электронике [Текст] / М.И. Эпштейн. – 2-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1990.– 254 с.

6. Карпова, О.В. Организация и технология испытаний [Текст]: учеб. пособие / О.В. Карпова, В.И. Логанина. – Пенза: ПГУАС, 2007. – 140 с.

7. ГОСТ Р 53966-2010 Контроль неразрушающий. Контроль напряженно-деформированного состояния материала конструкций. Общие требования к порядку выбора методов [Текст].

8. ГОСТ Р 52330-2005. Контроль неразрушающий. Контроль напряженно-деформированного состояния объектов промышленности и транспорта. Общие требования [Текст].

9. ГОСТ 18353-79. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов [Текст].

10. ГОСТ 1497-84. Металлы. Методы испытаний на растяжение

11. ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Термины и определения [Текст].

12. ГОСТ 23829-85. Контроль неразрушающий акустический. Термины и определения [Текст].

13. ГОСТ 26266-90. Контроль неразрушающий. Преобразователи ультразвуковые. Общие технические требования [Текст].

14. ГОСТ 31244-2004. Контроль неразрушающий. Оценка физико-механических характеристик материала элементов технических систем акустическим методом. Общие требования [Текст].

15. ГОСТ 7512-82. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод [Текст].

16. ГОСТ 30415-96. Неразрушающий контроль механических свойств и микроструктуры металлопродукции магнитным методом [Текст].

17. ГОСТ 18353-79. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов [Текст].

18. ГОСТ 14782-86 Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые [Текст].

19. ГОСТ 20426-82 Контроль неразрушающий. Методы дефектоскопии радиационные. Область применения [Текст].

20. ГОСТ 21105-87 Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод [Текст].

21. ГОСТ 28277-89. Контроль неразрушающий. Электрорадиографический метод. Общие требования [Текст].

22. ГОСТ Р 51780-2001. Контроль неразрушающий. Методы и средства испытаний на герметичность. Порядок и критерии выбора [Текст].

23. ГОСТ Р 53696-2009. Контроль неразрушающий. Методы оптические. Термины и определения [Текст].

24. ГОСТ Р 52890-2007. Акустический метод контроля напряжений в материале трубопроводов. Общие требования [Текст].

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

ПОЯСНЕНИЯ К ТЕРМИНАМ И ПРИЗНАКАМ КЛАССИФИКАЦИИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Термины	Пояснения
1	2
Виды неразрушающего контроля	
1. Неразрушающий контроль	По ГОСТ 16504-81
2. Вид неразрушающего контроля	Условная группировка методов неразрушающего контроля, объединенная общностью физических принципов, на которых они основаны
3. Магнитный неразрушающий контроль	Вид неразрушающего контроля, основанный на анализе взаимодействия магнитного поля контролируемым объектом
4. Электрический неразрушающий контроль	Вид неразрушающего контроля, основанный контроль на регистрации параметров электрического поля, взаимодействующего с контролируемым объектом или возникающего в контролируемом объекте в результате внешнего воздействия
5. Вихретоковый неразрушающий контроль	Вид неразрушающего контроля, основанный на анализе взаимодействия электромагнитного поля вихретокового преобразователя с электромагнитным полем вихревых токов, наводимых в контролируемом объекте
6. Радиоволновой неразрушающий контроль	Вид неразрушающего контроля, основанный на регистрации изменений параметров электромагнитных волн радиодиапазона, взаимодействующих с контролируемым объектом
7. Тепловой неразрушающий контроль	Вид неразрушающего контроля, основанный на регистрации изменений тепловых или температурных полей контролируемых объектов, вызванных дефектами
8. Оптический неразрушающий контроль	Вид неразрушающего контроля, основанный на регистрации параметров оптического излучения, взаимодействующего с контролируемым объектом
9. Радиационный неразрушающий контроль	Вид неразрушающего контроля, основанный на регистрации и анализе проникающего ионизирующего излучения после взаимодействия с контролируемым объектом. Примечание. В наименовании методов контроля слово «радиационный» может заменяться словом, обозначающим конкретный вид ионизирующего излучения (например, рентгеновский, нейтронный и т.д.)

1	2
10. Акустический неразрушающий контроль	Вид неразрушающего контроля, основанный на регистрации параметров упругих волн, возбуждаемых и (или) возникающих в контролируемом объекте Примечание. При использовании упругих волн ультразвукового диапазона частот (выше 20 кГц) допустимо применение термина «ультразвуковой» вместо термина «акустический»
11. Неразрушающий контроль проникающими веществами	Вид неразрушающего контроля, основанный на проникновении веществ в полости дефектов контролируемого объекта Примечание. При выявлении невидимых или слабовидимых глазом поверхностных дефектов термин «проникающими веществами» может изменяться на «капиллярный», а при выявлении сквозных дефектов – на «течеискание»
Методы неразрушающего контроля По характеру взаимодействия физических полей или веществ с контролируемым объектом	
12. Метод контроля	По ГОСТ 16504-74
13. Автоэмиссионный метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на генерации ионизирующего излучения веществом контролируемого объекта без активации его в процессе контроля
14. Акустико-эмиссионный метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на выделении и анализе параметров сигналов акустической эмиссии
15. Импедансный метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на анализе изменения величины механического импеданса участка поверхности контролируемого объекта
16. Конвективный метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации теплового потока, передаваемого контролируемому объекту в результате процесса конвекции
17. Магнитный метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на измерении параметров магнитных полей, создаваемых в контролируемом объекте путем его намагничивания
18. Метод активационного анализа	Метод неразрушающего контроля, основанный на анализе ионизирующего излучения, источником которого является наведенная радиоактивность контролируемого объекта, возникшая в результате воздействия на него первичного ионизирующего излучения
19. Метод индуцированного излучения	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации излучения, генерируемого контролируемым объектом при постороннем воздействии (например, люминесценция, фотолюминесценция)

1	2
20. Метод отраженного излучения (эхо-метод)	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации волн, полей или потока элементарных частиц, отраженных от дефекта или поверхности раздела двух сред
21. Метод прошедшего излучения	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации волн, полей или потока элементарных частиц, прошедших сквозь контролируемый объект
22. Метод рассеянного излучения	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации характеристик волн, полей или потока частиц, рассеянных от дефекта или поверхности раздела двух сред
23. Метод свободных колебаний	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации параметров свободных колебаний, возбужденных в контролируемом объекте
24. Метод собственного излучения	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации параметров собственного излучения контролируемого объекта
25. Метод характеристического излучения	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации параметров характеристического излучения, испускаемого электронными оболочками атомов облучаемого вещества контролируемого объекта под воздействием первичного излучения
26. Молекулярный метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации вещества, проникающего в (через) дефекты контролируемого объекта в результате межмолекулярного взаимодействия
27. Резонансный метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации параметров резонансных колебаний, возбужденных в контролируемом объекте
28. Тепловой контактный метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации теплового потока, получаемого контролируемым объектом при непосредственном контакте с источником тепла
29. Термоэлектрический метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации величины т.э.д.с., возникающей при прямом контакте нагретого образца известного материала с контролируемым объектом
30. Трибоэлектрический метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации величины электрических зарядов, возникающих в контролируемом объекте при трении разнородных материалов
31. Электрический метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации параметров электрического поля, взаимодействующего с контролируемым объектом
32. Амплитудный метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации амплитуды волн, взаимодействующих с контролируемым объектом

1	2
По первичному информативному параметру	
33. Временной метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации времени прохождения волны через контролируемый объект
34. Геометрический метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации точки, соответствующей максимальному значению интенсивности волнового пучка после взаимодействия с контролируемым объектом
35. Газовый метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации газов, проникающих через сквозные дефекты контролируемого объекта
36. Жидкостный метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации жидкости, проникающей через сквозные дефекты контролируемого объекта
37. Метод коэрцитивной силы	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации коэрцитивной силы объекта
38. Метод магнитной проницаемости	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации магнитной проницаемости контролируемого объекта
39. Метод намагниченности	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации намагниченности контролируемого объекта
40. Метод напряженности	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации напряженности магнитного поля, взаимодействующего с контролируемым объектом
41. Метод остаточной индукции	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации остаточной индукции материала контролируемого объекта после взаимодействия с магнитным полем
42. Метод плотности потока энергии	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации плотности потока энергии ионизирующего излучения после взаимодействия с контролируемым объектом
43. Многочастотный метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на анализе и (или) синтезе сигналов преобразователя, обусловленных взаимодействием электромагнитного поля различных частот с объектом контроля
44. Метод эффекта Баркгаузена	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации параметров магнитного шума, возникающего в результате эффекта Баркгаузена
45. Поляризационный метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации поляризации волн, взаимодействующих с контролируемым объектом

1	2
46. Спектральный метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации и анализе спектра физического поля (излучения) после взаимодействия с контролируемым объектом
47. Теплометрический метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации теплового потока либо величин, его определяющих
48. Термометрический метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на контактной или дистанционной регистрации температуры контролируемого объекта
49. Фазовый метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации фазы волн, взаимодействующих с контролируемым объектом
50. Частотный метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации частоты волн, взаимодействующих с контролируемым объектом
51. Электроемкостный метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации емкости участка контролируемого объекта, взаимодействующего с электрическим полем
52. Электропотенциальный метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации распределения потенциалов по поверхности контролируемого объекта
По способу получения первичной информации	
53. Акустический метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации акустических волн, возбуждаемых при вытекании пробных веществ через сквозные дефекты контролируемого объекта
54. Болометрический метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации мощности лучистой энергии электромагнитных волн, взаимодействующих с контролируемым объектом, с помощью болометров
55. Визуально-оптический метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на получении первичной информации об объекте при визуальном наблюдении или с помощью оптических приборов
56. Галогенный метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации пробного вещества, проникающего через сквозные дефекты контролируемого объекта, по изменению эмиссии ионов нагретой металлической поверхностью при попадании на нее пробного вещества, содержащего галогены
57. Голографический метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации интерференционной картины, получаемой при взаимодействии опорного и рассеянного контролируемым объектом полей когерентных волн с последующим восстановлением изображения объекта

1	2
58. Детекторный (диодный) метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации энергии электромагнитного излучения, взаимодействующего с контролируемым объектом, с помощью диодов
59. Индукционный метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации магнитных полей рассеяния по величине или фазе индуцируемой э.д.с.
60. Интерференционный метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на получении первичной информации об объекте по образованию в плоскости изображения соответствующего распределения интенсивности и фазы волнового излучения, прошедшего через объект или отраженного контролируемым объектом
61. Ионизационный метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации заряженных частиц, возникающих при ионизации атомов материала контролируемого объекта, ионизационной камерой, счетчиком Гейгера, пропорциональным детектором
62. Калориметрический метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на измерении тепловых эффектов (количеств теплоты)
63. Катарометрический метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации разницы в теплопроводности воздуха и пробного газа, вытекающего через сквозные дефекты контролируемого объекта
64. Люминесцентный метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации контраста люминесцирующего видимым излучением следа на фоне поверхности контролируемого объекта в длинноволновом ультрафиолетовом излучении
65. Люминесцентно-цветной метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации контраста цветного или люминесцирующего индикаторного следа на фоне поверхности контролируемого объекта в видимом или длинноволновом ультрафиолетовом излучении
66. Магнитографический метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации магнитных полей рассеяния с использованием в качестве индикатора ферромагнитной пленки
67. Магнитопорошковый метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации магнитных полей рассеяния над дефектами с использованием в качестве индикатора ферромагнитного порошка или магнитной суспензии
68. Магниторезисторный метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации магнитных полей рассеяния магниторезисторами

1	2
69. Манометрический метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации изменения показаний вакуумметра, обусловленного проникновением воздуха или пробного вещества через сквозные дефекты контролируемого объекта
70. Масс-спектрометрический метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации ионов пробного газа, проникающего через сквозные дефекты контролируемого объекта
71. Метод вторичных электронов	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации потока высокоэнергетических вторичных электронов, образованного в результате взаимодействия проникающего излучения с контролируемым объектом
72. Метод высокочастотного разряда	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации проникновения воздуха или пробного газа по возбуждению разряда в вакууме или на локализации искрового разряда в зоне сквозного дефекта контролируемого объекта
73. Метод жидких кристаллов	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации распределения температуры по поверхности контролируемого изделия с помощью термоиндикаторов на основе жидких кристаллов
74. Метод контактной разности потенциалов	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации контактной разности потенциалов
75. Метод остаточных устойчивых деформаций	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации остаточных деформаций эластичных покрытий в месте течи
76. Метод рекомбинационного излучения	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации рекомбинационного излучения *p-n* переходов при прямом и обратном их смещении
77. Метод термокрасок	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации распределения температуры по поверхности объекта с помощью химических красок, изменяющих цвет под действием тепловой энергии контролируемого объекта
78. Метод термобумаг	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации температуры по поверхности контролируемого объекта с помощью необратимых термоиндикаторов, представляющих собой черную бумагу с термочувствительным слоем, плавящимся при определенной температуре, в результате чего обнажается черная контрастная основа

1	2
79. Метод термолюминофоров	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации распределения температуры по поверхности контролируемого объекта с помощью люминофоров, наносимых на контролируемую поверхность и изменяющих яркость свечения в зависимости от температуры
80. Метод термозависимых параметров	Метод неразрушающего контроля, основанный на изменении температуры контролируемого объекта с помощью его термозависимых параметров (сопротивления, емкости и т.п.)
81. Метод фильтрующихся частиц	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации контраста скопления отфильтрованных частиц (люминесцентных, цветных, люминесцентно-цветных) на фоне поверхности контролируемого объекта
82. Метод фотоуправляемых полупроводниковых частиц	Метод неразрушающего контроля, основан на регистрации пространственной структуры СВЧ поля, взаимодействующего с контролируемым объектом в плоскости фотоуправляемой полупроводниковой пластины, и измерении коэффициента отражения (прохождения) электромагнитной волны от освещенного участка пластины
83. Метод экзоэлектронной эмиссии	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации экзоэлектронов, эмитируемых поверхностью контролируемого объекта при приложении к нему внешнего стимулирующего воздействия
84. Метод эффекта Холла	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации магнитных полей датчиками Холла
85. Микрофонный метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации акустических волн с помощью микрофона
86. Нефелометрический метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на получении информации о контролируемом объекте по изменению интенсивности и поляризации оптического излучения, проходящего через объект, в результате рассеяния на неоднородностях
87. Оптический интерференционный метод	Метод неразрушающего контроля теплового поля в приповерхностных слоях среды, окружающей нагретый объект, по интерференционной картине
88. Параметрический вихретоковый метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации электромагнитного поля вихревых токов, наводимых в контролируемом объекте полем преобразователя, по изменению полного сопротивления катушки преобразователя

1	2
89. Пирометрический метод	Метод неразрушающего контроля температуры с помощью визуальных или фотоэлектрических пирометров
90. Пондеромоторный метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации силы отрыва (притяжения) постоянного магнита или сердечника электромагнита от контролируемого объекта
91. Порошковый метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации увеличения амплитуд акустических колебаний отделенных дефектами участков вследствие их резонансов на собственных частотах с помощью тонкодисперсного порошка
92. Пузырьковый метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации пузырьков пробного газа, проникающего через сквозные дефекты контролируемого объекта
93. Пьезоэлектрический метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации акустических волн пьезоэлектрическим детектором
94. Радиоактивный метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации интенсивности излучения, обусловленного проникновением радиоактивного вещества через сквозные дефекты контролируемого объекта
95. Радиографический метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на преобразовании радиационного изображения контролируемого объекта в радиографический снимок или записи этого изображения на запоминающем устройстве с последующим преобразованием в световое изображение
96. Радиоскопическнй метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации ионизирующих излучений после взаимодействия с контролируемым объектом на флуоресцирующем экране или с помощью электронно-оптического преобразователя
97. Рефлексометрический метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации интенсивности светового потока, отраженного от изделия
98. Рефрактометрический метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации показателей преломления контролируемого объекта в различных участках спектра оптического излучения
99. Сцинтилляционный метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации ионизирующего излучения, взаимодействующего с контролируемым объектом, сцинтилляционный детектором

1	2
100. Термисторный метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации мощности лучистой энергии электромагнитных волн, взаимодействующих с контролируемым объектом, с помощью термисторов
101. Трансформаторный метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации электромагнитного поля вихревых токов, наводимых возбуждающей катушкой в токопроводящем объекте, по изменению э.д.с. на зажимах измерительной катушки
102. Феррозондовый метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на измерении напряженности магнитного поля феррозондами
103. Химический метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации проникновения пробных жидкостей или газов веществами, изменяющими свой цвет в результате химической реакции
104. Цветной (хроматический) метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации контраста цветного индикаторного следа на фоне поверхности контролируемого объекта в видимом излучении
105. Шумовой метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации шумовых параметров
106. Электроискровой метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации возникновения электрического пробоя и изменений его параметров в окружающей среде или на участке контролируемого объекта
107. Электромагнитно-акустический метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации акустических волн после взаимодействия с контролируемым объектом с помощью вихретокового преобразователя
108. Электропараметрический метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации электрического поля по вольт-амперным, вольт-фарадным и т.д. характеристикам контролируемого объекта
109. Электростатический порошковый метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации электростатических полей рассеяния с использованием в качестве индикатора наэлектризованного порошка
110. Яркостный (ахроматический) метод	Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации контраста ахроматического следа на фоне поверхности контролируемого объекта в видимом излучении
Пояснения терминов	
Дефект	Одна несплошность или группа сосредоточенных несплошностей, не предусмотренная конструкторско-технологической документацией и независимая по воздействию на объект от других несплошностей

Окончание прил. 1

1	2
Предельная чувствительность контроля эхо-методом	Чувствительность, характеризуемая минимальной эквивалентной площадью (в $мм^2$) отражателя, который еще обнаруживается на заданной глубине в изделии при данной настройке аппаратуры
Условная чувствительность контроля эхо-методом	Чувствительность, характеризуемая размерами и глубиной залегания выявляемых искусственных отражателей, выполненных в образце из материала с определенными акустическими свойствами. При ультразвуковом контроле сварных соединений условную чувствительность определяют по стандартному образцу СО-1 или по стандартному образцу СО-2, или по стандартному образцу СО-2Р. Условную чувствительность по стандартному образцу СО-1 выражают наибольшей глубиной (в миллиметрах) расположения цилиндрического отражателя, фиксируемого индикаторами дефектоскопа. Условную чувствительность по стандартному образцу СО-2 (или СО-2Р) выражают разностью в децибелах между показанием аттенюатора при данной настройке дефектоскопа и показанием, соответствующим максимальному ослаблению, при котором цилиндрическое отверстие диаметром 6 мм на глубине 44 мм фиксируется индикаторами дефектоскопа
Угол ввода	Угол между нормалью к поверхности, на которой установлен преобразователь, и линией, соединяющей центр цилиндрического отражателя с точкой выхода при установке преобразователя в положение, при котором амплитуда эхо-сигнала от отражателя наибольшая
Условный дефект	Поверхностный дефект в форме плоской щели с параллельными стенками с отношением глубины к ширине, равным 10, ориентированный перпендикулярно к направлению магнитного поля
Условный уровень чувствительности	Чувствительность магнитопорошкового контроля, определяемая минимальной шириной и протяженностью условного дефекта
Дефектограмма	Изображение части изделия с индикаторным рисунком выявленных дефектов, полученное фотографическим путем, при помощи реплик или другими способами
Стекание основной массы суспензии	Состояние, при котором дальнейшее стекание суспензии не изменяет картины отложения порошка над дефектом, в том числе при повторном включении намагничивающего устройства

Приложение 2

ТЕРМИНЫ, ОТНОСЯЩИЕСЯ К МЕТОДАМ ТЕПЛОВОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Тепловой неразрушающий контроль; тепловой контроль – неразрушающий контроль, основанный на регистрации температурных полей объекта контроля.

Температурный контраст объекта теплового неразрушающего контроля; температурный контраст – величина, равная отношению разности между наибольшим и наименьшим значениями температур объекта теплового контроля или его отдельного участка к наибольшему из значений.

Радиационный контраст объекта теплового неразрушающего контроля; радиационный контраст – величина, равная отношению разности наибольшего и наименьшего значений интегральной плотности потоков теплового излучения, испускаемого участками объекта теплового неразрушающего контроля, к наибольшему из значений.

Контраст изображения объекта при тепловом неразрушающем контроле; контраст изображения – отношение разности яркостей изображения объекта теплового неразрушающего контроля на экране тепловизора и яркости фона к наибольшей из них.

Тепловое изображение объекта контроля; тепловое изображение – изображение объекта контроля, создаваемое за счет собственного теплового излучения и (или) различий и излучательной способности поверхности объекта контроля.

Пороговая разность температур при тепловом неразрушающем контроле- разность температур объекта контроля и фона, при которой отношение величины выходного сигнала теплового дефектоскопа к средней квадратической величине шума равно единице.

Температурный рельеф объекта контрол; температурный рельеф – распределение температур по поверхности объекта контроля.

Термограмм – тепловое изображение объекта контроля или его отдельного участка.

Термопрофилограмм – график распределения температуры вдоль заданной линии на поверхности объекта контроля.

Время задержки теплового неразрушающего контроля; время задержк – интервал времени между окончанием нагрева объекта контроля и началом измерения температур на поверхности объекта контроля при тепловом неразрушающем контроле.

Чувствительность теплового дефектоскопа; чувствительность – отношение приращения выходного сигнала теплового дефектоскопа к вызвавшему его приращению контролируемого параметра.

Порог реагирования теплового дефектоскопа; порог реагировании – наименьшее значение изменения контролируемого параметра, вызывающее изменение выходного сигнала теплового дефектоскопа, которое еще можно обнаружить.

Методы теплового неразрушающего контроля

Активный метод теплового неразрушающего контроля; активный метод – метод теплового неразрушающего контроля, при котором объект контроля подвергается воздействию внешнего источника тепловой энергии.

Пассивный метод теплового неразрушающего контроля; пассивный метод – метод теплового неразрушающего контроля, при котором объект контроля не подвергается воздействию внешнего источника тепловой энергии.

Односторонний метод теплового неразрушающего контроля; односторонний метод – активный метод теплового неразрушающего контроля, при котором источник нагрева объекта контроля и средство регистрации теплового излучения расположены по одну сторону объекта контроля.

Двусторонний метод теплового неразрушающего контроля; двусторонний метод – активный метод теплового неразрушающего контроля, при котором источник нагрева объекта контроля и средство регистрации теплового излучения расположены с противоположных сторон объекта контроля.

Комбинированный метод теплового неразрушающего контроля; комбинированный метод – метод теплового неразрушающего контроля, основанный на одновременном применении одностороннего и двустороннего методов теплового неразрушающего контроля.

Метод прошедшего теплового излучения; метод прошедшего излучения – активный метод теплового неразрушающего контроля, основанный на регистрации прошедшего через объект контроля теплового излучения.

Метод отраженного теплового излучения; метод отраженного излучения – активный метод теплового неразрушающего контроля, основанный на регистрации отраженного от объекта контроля теплового излучения.

Контактный метод теплового неразрушающего контроля; контактный метод – метод теплового неразрушающего контроля, основанный на регистрации температуры при непосредственном контакте чувствительного элемента теплового дефектоскопа с поверхностью объекта контроля.

Неконтактный метод теплового неразрушающего контроля; неконтактный метод – метод теплового неразрушающего контроля, основанный на регистрации температуры при отсутствии непосредственного контакта чувствительного элемента теплового дефектоскопа с поверхностью объекта контроля.

Тепловой метод эвапорографии; метод эвапорографии – метод теплового неразрушающего контроля, основанный на применении эвапорографа.

Тепловой метод эджеографии; метод эджеографии – метод теплового неразрушающего контроля, основанный на применении эджеографа.

Тепловизионный метод- метод теплового неразрушающего контроля, основанный на использовании электронных средств тепловидения.

Электротепловой метод – активный метод теплового неразрушающего контроля, при котором нагрев объекта контроля осуществляется пропусканием электрического тока.

Пирометрический тепловой метод; пирометрический метод – метод теплового неразрушающего контроля, основанный на регистрации температуры поверхности объекта контроля с помощью пирометра.

Тепловой метод жидких кристаллов; метод жидких кристаллов – метод теплового неразрушающего контроля, основанный на применении жидкокристаллических термоиндикаторов.

Тепловой метод термокрасок; метод термокрасок – метод теплового неразрушающего контроля, основанный на применении термокрасок.

Тепловой метод термобумаг; метод термобумаг – метод теплового неразрушающего контроля, основанный на применении термобумаг.

Тепловой метод термолюминофоров; метод термолюминофоров – метод теплового неразрушающего контроля, основанный на применении термолюминофоров.

Тепловой метод термозависимых параметров; метод термозависимых параметров- метод теплового неразрушающего контроля, основанный на анализе изменения температуры объекта контроля с помощью его термозависимых параметров.

Оптический интерференционный тепловой метод; оптический интерференционный метод – активный метод теплового неразрушающего контроля, основанный на получении интерференционной картины объекта контроля.

Калориметрический тепловой метод; калориметрический метод – метод теплового неразрушающего контроля, основанный на измерении количества теплоты, выделенной объектом контроля.

Конвективный тепловой метод; конвективный метод – активный метод теплового неразрушающего контроля, основанный на регистрации теплового потока, передаваемого объекту контроля в результате конвекции.

Средства теплового неразрушающего контроля

Тепловой дефектоскоп – прибор, предназначенный для выявления дефектов объекта контроля и основанный на методе теплового неразрушающего контроля.

Тепловизор-дефектоскоп – тепловой дефектоскоп с тепловизором.

Составные части приборов теплового неразрушающего контроля

Приемник излучения теплового дефектоскопа; приемник излучения – часть теплового дефектоскопа, в котором непосредственно осуществляется прием и преобразование теплового излучения в электрический сигнал.

Индикатор теплового дефектоскопа; индикатор – часть теплового дефектоскопа, обеспечивающая визуализацию температурного рельефа объекта контроля.

Оптический преобразователь теплового дефектоскопа; оптический преобразователь – часть теплового дефектоскопа, обеспечивающая дистанционный прием, фокусировку, модуляцию и (или) фильтрацию теплового излучения объекта контроля.

Электронный преобразователь теплового дефектоскопа; электронный преобразователь – часть теплового дефектоскопа, обеспечивающая усиление преобразования и индикацию электрического сигнала с выхода приемника излучения.

Источники нагрева теплового неразрушающего контроля

Источник нагрева (охлаждения) теплового дефектоскопа; источник нагрева – часть теплового дефектоскопа, предназначенная для нагрева (охлаждения) объекта контроля или его участка.

Точечный источник нагрева теплового дефектоскопа; точечный источник нагрева – источник нагрева теплового дефектоскопа, обеспечивающий точечное пятно нагрева на объекте контроля.

Линейный источник нагрева теплового дефектоскопа; линейный источник нагрева – источник нагрева теплового дефектоскопа, обеспечивающий линию нагрева на объекте контроля.

Поверхностный нагреватель теплового дефектоскопа; поверхностный нагреватель – источник нагрева теплового дефектоскопа, обеспечивающий поверхностный нагрев объекта контроля.

Плазмотронный нагреватель теплового дефектоскопа; плазмотронный нагреватель – источник нагрева теплового дефектоскопа, основанный на взаимодействии плазменной струи с объектом контроля.

Индукционный нагреватель теплового дефектоскопа; индукционный нагревател – источник нагрева теплового дефектоскопа, основанный на взаимодействии электромагнитного поля с объектом контроля.

Инфракрасный излучатель теплового дефектоскопа; инфракрасный излучатель – источник нагрева теплового дефектоскопа, основанный на генерации инфракрасного излучения и фокусировки его в данном направлении.

Образцовый излучатель теплового дефектоскопа; образцовый излучатель – источник теплового излучения, близкий по параметрам к черному телу, предназначенный для калибровки теплового дефектоскопа.

Вихревая труба теплового дефектоскопа – источник нагрева теплового дефектоскопа, основанный на взаимодействии нагретых газовых потоков с поверхностью объекта контроля.

Температурное поле объекта контроля; температурное поле – анализ исследуемого пространства путем последовательного его просмотра при передвижении мгновенного поля зрения по полю обзора.

Нестационарное температурное поле объекта контроля; нестационарное температурное поле – поле объекта контроля, температура которого изменяется не только по поверхности объекта контроля, но и с течением времени.

Стационарное температурное поле объекта контроля; стационарное температурное поле – поле объекта контроля, температура которого в любой его точке не изменяется во времени.

Градиент температуры – вектор, направленный по нормали к изотермической поверхности в сторону возрастания температуры, численно равный частной производной от температуры по этому направлению.

Изотерм – линия равной температуры, выделенная на объекте контроля или его изображения.

Неконтактная термометрия – совокупность методов и средств измерения температуры, основанных на дистанционном измерении теплового излучения объекта контроля.

Контактная термометрия – совокупность методов и средств измерения температуры, основанных на размещении термопреобразователя в контакте с объектом контроля.

Тепловидение – визуализация температурных полей.

Термокраска: химическая краска, изменяющая цвет под действием тепла.

Термолюминофор – люминофор, изменяющий яркость свечения в зависимости от температуры.

Термобумага: цветная бумага с термочувствительным слоем.

Жидкокристаллический термоиндикатор – пленка с нанесенными слоями черной краски и жидких кристаллов, предназначенная для визуализации температурного рельефа.

Тепловизор – прибор, предназначенный для преобразования теплового изображения в видимое.

Тепловизионный микроскоп – тепловизор, предназначенный для преобразования теплового изображения микрообъекта в видимое.

Терморадиометр – прибор, предназначенный для бесконтактного измерения интенсивности теплового излучения поверхности объекта контроля.

Термограф – прибор, предназначенный для автоматической записи распределения температуры объекта контроля.

Микротермограф – прибор, предназначенный для автоматической записи распределения температуры микрообъекта контроля.

Эвапорограф – прибор, предназначенный для визуализации тепловых изображений, основанный на интерференционной регистрации изменений скорости испарения или паров жидкости в зависимости от температуры.

Эджеограф – прибор для визуализации тепловых изображений, основанный на способности полупроводников изменять границу полосы поглощения в зависимости от температуры.

Термопрофилограф – прибор, предназначенный для получения термопрофилограмм объекта контроля.

Инфракрасный зеркальный объектив; зеркальный объектив – оптическая система, состоящая из зеркал с внешним отражающим покрытием и предназначенная для получения теплового изображения объекта в плоскости приемника излучения.

Инфракрасный линзовый объектив; линзовый объектив – оптическая система, состоящая из оптических линз и предназначенная для получения теплового изображения объекта в плоскости приемника излучения.

Инфракрасный видикон – видикон, чувствительный в инфракрасной области.

Приложение 3

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОТНОСЯЩИЕСЯ К ОПТИЧЕСКИМ МЕТОДАМ

Оптический неразрушающий контроль; оптический контроль – неразрушающий контроль, основанный на анализе взаимодействия оптического излучения с объектом контроля.

Контраст дефекта – отношение разности энергетических яркостей дефекта и окружающего его фона к одной из них либо их сумме.

Видимость дефекта – отношение фактического контраста дефекта к его пороговому значению в заданных условиях.

Методы оптического неразрушающего контроля

Метод прошедшего оптического излучения; метод прошедшего излучения – метод оптического неразрушающего контроля, основанный на регистрации параметров оптического излучения, прошедшего сквозь объект.

Метод отраженного оптического излучения – метод оптического неразрушающего контроля, основанный на регистрации параметров оптического излучения, отраженного от объекта контроля.

Метод рассеянного оптического излучения; метод рассеянного излучения – метод оптического неразрушающего контроля, основанный на регистрации параметров оптического излучения, рассеянного от объекта контроля.

Метод собственного оптического излучения; метод собственного излучения – метод оптического неразрушающего контроля, основанный на регистрации параметров собственного излучения объекта контроля.

Метод индуцированного оптического излучения; метод индуцированного излучения – метод оптического неразрушающего контроля, основанный на регистрации параметров оптического излучения, генерируемого объектом контроля при постороннем воздействии.

Спектральный метод оптического излучения; спектральный метод – метод оптического неразрушающего контроля, основанный на анализе спектра оптического излучения после его взаимодействия с объектом контроля.

Когерентный метод оптического излучения; когерентный метод – метод оптического неразрушающего контроля, основанный на измерении степени когерентности оптического излучения после его взаимодействия с объектом контроля.

Амплитудный метод оптического излучения; амплитудный метод – метод оптического неразрушающего контроля, основанный на регистрации интенсивности оптического излучения после его взаимодействия с объектом контроля.

Временной метод оптического излучения; временной метод – метод оптического неразрушающего контроля, основанный на регистрации времени прохождения оптического излучения через объект контроля.

Геометрический метод оптического излучения; геометрический метод – метод оптического неразрушающего контроля, основанный на регистрации направления оптического излучения после его взаимодействия с объектом контроля.

Поляризационный метод оптического излучения; поляризационный метод – метод оптического неразрушающего контроля, основанный на регистрации степени поляризации оптического излучения после его взаимодействия с объектом контроля.

Фазовый метод оптического излучения; фазовый метод – метод оптического неразрушающего контроля, основанный на регистрации фазы оптического излучения после его взаимодействия с объектом контроля.

Интерференционный метод оптического излучения; интерференционный метод – метод оптического неразрушающего контроля, основанный на анализе интерференционной картины, получаемой при взаимодействии когерентных волн, опорной и модулированной объектом контроля.

Дифракционный метод оптического излучения; дифракционный метод – метод оптического неразрушающего контроля, основанный на анализе дифракционной картины, получаемой при взаимодействии когерентного оптического излучения с объектом контроля.

Рефракционный метод оптического излучения; рефракционный метод – метод оптического неразрушающего контроля, основанный на анализе параметров преломления оптического излучения объектом контроля.

Абсорбционный метод оптического излучения; абсорбционный метод – метод оптического неразрушающего контроля, основанный на анализе параметров поглощения оптического излучения объектом контроля.

Визуально-оптический метод оптического излучения; визуально-оптический метод – метод оптического неразрушающего контроля, основанный на наблюдении объекта контроля или его изображения с помощью оптических или оптико-электронных приборов.

Фотохимический метод оптического излучения; фотохимический метод – метод оптического неразрушающего контроля, основанный на анализе параметров фотохимических процессов, возникающих при взаимодействии оптического излучения с объектом контроля.

Оптико-акустический метод оптического излучения; оптико-акустический метод – метод оптического неразрушающего контроля, основанный на анализе параметров оптико-акустического эффекта, возникающего при взаимодействии оптического излучения с объектом контроля.

Фотолюминесцентный метод оптического излучения; фотолюминесцентный метод – метод оптического неразрушающего контроля, основанный на анализе параметров люминесценции, возникающей при взаимодействии оптического излучения с объектом контроля.

Электрооптический метод оптического излучения; электрооптический метод – поляризационный метод оптического неразрушающего контроля, основанный на дополнительном воздействии на объект контроля внешнего электрического поля.

Магнитооптический метод оптического излучения; магнитооптический метод – поляризационный метод оптического неразрушающего контроля, основанный на дополнительном воздействии на объект контроля магнитного поля.

Метод согласованной фильтрации оптического излучения; метод согласованной фильтрации – метод оптического неразрушающего контроля, основанный на анализе изображения объекта контроля с помощью оптического согласованного фильтра.

Метод разностного оптического изображения; метод разностного изображения – метод оптического неразрушающего контроля, основанный на регистрации различий в изображениях объекта контроля и контрольного образца.

Метод фотоэлектрического оптического излучения; метод фотоэлектрического излучения – метод оптического неразрушающего контроля, основанный на анализе параметров фотоэлектрического эффекта, возникающего при облучении объекта контроля оптическим излучением.

Метод спекл-интерферометрии оптического излучения; метод спекл-интерферометрии – метод оптического неразрушающего контроля, основанный на использовании пространственной корреляции интенсивности диффузно-когерентного оптического излучения для получения интерференционных топограмм объекта контроля.

Метод спекл-структур оптического излучения; метод спекл-структур – метод оптического неразрушающего контроля, основанный на анализе спекл-структур, образующихся при отражении когерентного оптического излучения от шероховатости поверхности объекта контроля.

Метод муаровых полос – метод оптического неразрушающего контроля, основанный на анализе топограмм объекта контроля, получаемых с помощью оптически сопряженных растров.

Фотоимпульсный метод контроля геометрических размеров изделия; фотоимпульсный метод – метод оптического неразрушающего контроля, основанный на измерении длительности импульсов оптического излучения, пропорциональных геометрическим размерам объекта контроля и получаемых с помощью сканирования его изображения.

Фотокомпенсационный метод контроля геометрических размеров изделия; фотокомпенсационный метод – метод оптического неразрушающего контроля, основанный на измерении изменений интенсивности оптического излучения, вызванных отклонением геометрических размеров объекта контроля от контрольного образца.

Фотоследящий метод контроля геометрических размеров изделия; фотоследящий метод – метод оптического неразрушающего контроля, основанный на регистрации перемещений фотоследящего устройства, пропорциональных изменению геометрических размеров объекта контроля.

Средства оптического неразрушающего контроля

Прибор неразрушающего контроля оптический – система, состоящая из осветительных, оптических и регистрирующих устройств, а также средств калибровки и настройки, предназначенная для оптического неразрушающего контроля. При наличии у прибора оптического неразрушающего контроля нормируемых метрологических характеристик он может использоваться в качестве измерительного прибора.

Источник излучения прибора оптического неразрушающего контроля; источник излучения – часть прибора оптического неразрушающего контроля, предназначенная для облучения или освещения объекта контроля.

Оптическая система – часть прибора оптического неразрушающего контроля, предназначенная для формирования пучков оптического излучения, несущих информацию об объекте контроля.

Приемное устройство – часть прибора оптического неразрушающего контроля, предназначенная для регистрации первичного информативного параметра оптического излучения после его взаимодействия с объектом контроля. В зависимости от вида регистрации различают фотоэлектрическое, фотографическое и другие приемные устройства.

Оптический дефектоскоп – прибор оптического неразрушающего контроля, предназначенный для обнаружения несплошностей и неоднородностей материалов и изделий.

Лазерный эллипсометр – прибор оптического неразрушающего контроля, предназначенный для измерения толщины и (или) показателя преломления прозрачных пленок поляризационным методом.

Оптический структуроскоп – прибор оптического неразрушающего контроля, предназначенный для анализа структуры и (или) физико-химических свойств материалов и изделий.

Оптический толщиномер – прибор оптического неразрушающего контроля, предназначенный для измерения толщины объектов контроля и (или) глубины залегания дефектов.

Световое сечение – освещение объекта контроля плоским пучком света для получения изображения его рельефа.

Темное поле – освещение объекта контроля, при котором яркость его дефектов больше яркости поверхности, на которой они расположены.

Светлое поле – освещение объекта контроля, при котором яркость его дефектов меньше яркости поверхности, на которой они расположены.

Стробоскопическое облучение – облучение объекта контроля модулизированным оптическим излучением, частота и фаза которого синхронизированы с движением объекта контроля.

Когерентное облучение – облучение объекта контроля когерентным излучением.

Монохроматическое облучение – облучение объекта контроля монохроматическим излучением

Полихроматическое облучение – облучение объекта контроля полихроматическим оптическим излучением.

Сканирующее облучение – облучение объекта контроля оптическим излучением с применением сканирования.

Телецентрическое облучение – облучение объекта контроля параллельным пучком оптического излучения.

Стигматическое облучение – облучение объекта контроля точечным источником оптического излучения.

Спекл-структура – случайное распределение интенсивности, характерное для диффузно-когерентного излучения.

Сканирование – анализ исследуемого пространства путем последовательного его просмотра при передвижении мгновенного поля зрения по полю обзора.

ПРИБОРЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ОПТИЧЕСКОМ НЕРАЗРУШАЮЩЕМ КОНТРОЛЕ

Эндоскоп – оптический прибор, имеющий осветительную систему и предназначенный для осмотра внутренних поверхностей объекта контроля.

Оптический компаратор – оптический прибор, предназначенный для одновременного наблюдения объекта контроля и контрольного образца.

Субтрактивный видеоанализатор – оптический прибор для формирования разностного изображения объекта контроля и контрольного образца.

Оптический дисдрометр – оптический прибор для анализа объемного распределения микрочастиц в контролируемой среде.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕДЕЛЬНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ДЕФЕКТОСКОПА И ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ПЛОЩАДИ ВЫЯВЛЕННОГО ДЕФЕКТА УЛЬТРАЗВУКОВЫМ МЕТОДОМ ПО ОБРАЗЦУ С ЦИЛИНДРИЧЕСКИМ ОТВЕРСТИЕМ

Предельную чувствительность ($S_{\text{п}}$) в квадратных миллиметрах дефектоскопа с наклонным преобразователем (или эквивалентную площадь $S_{\text{э}}$ выявленного дефекта) определяют по стандартному образцу предприятия с цилиндрическим отверстием или по стандартному образцу СО-2А или СО-2 в соответствии с выражением

$$S_{\text{п}} = 10^{\frac{1}{20}\left[N_x-(N_0+\Delta N)\right]} \times \frac{b_1^{1/2}\cdot c_{t_2}\left(H + r_1\dfrac{c_{l_1}}{c_{t_2}}\dfrac{\cos^2\alpha}{\cos\beta}\right)^2}{2f\left(H_0 + r_1\dfrac{c_{l_1}}{c_{t_2}}\dfrac{\cos^2\alpha}{\cos\beta}\right)^{3/2}\cos^{1/2}\alpha} \times \exp\left[2\frac{\delta_t\left(H-H_0\right)}{\cos\alpha}\right],$$

где N_0 – показание аттенюатора, соответствующее ослаблению эхо-сигнала от бокового цилиндрического отверстия в стандартном образце предприятия или в стандартном образце СО-2А, или СО-2 до уровня, при котором оценивают предельную чувствительность, дБ;

N_x – показание аттенюатора, при котором оценивают предельную чуствительность дефектоскопа $S_{\text{п}}$ или при котором амплитуда эхо-сигнала от исследуемого дефекта достигает уровня, при котором оценивают предельную чувствительность, дБ;

ΔN – разность между коэффициентами прозрачности границы призма преобразователя – металл контролируемого соединения и коэффициентом прозрачности границы призма преобразователя – металл стандартного образца предприятия или стандартного образца СО-2А (или СО-2), дБ ($\Delta N \leq 0$). При эталонировании чувствительности по стандартному образцу предприятия, имеющему форму и чистоту поверхности такую же, как и контролируемое соединение, $\Delta N = 0$;

b_0 – радиус цилиндрического отверстия, мм;

c_{t_2} – скорость поперечной волны в материале образца и контролируемого соединения, м/с;

f – частота ультразвука, МГц;

r_1 – средний путь ультразвука в призме преобразователя, мм;

c_{l_1} – скорость продольной волны в материале призмы, м/с;

α и β – угол ввода ультразвукового луча в металл и угол призмы преобразователя соответственно, град;

H – глубина, для которой оценивается предельная чувствительность или на которой расположен выявляемый дефект, мм;

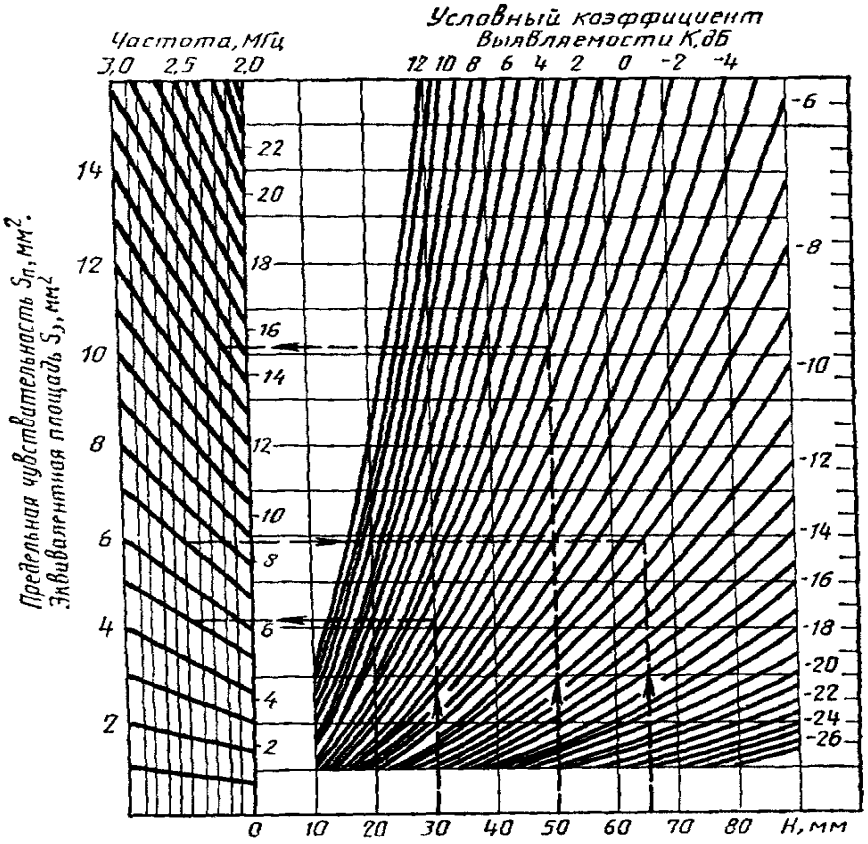
H_0 – глубина расположения цилиндрического отверстия в образце, мм;

δ_t – коэффициент затухания поперечной волны в металле контролируемого соединения и образца, мм$^{-1}$.

Для упрощения определения предельной чувствительности и эквивалентной площади рекомендуется рассчитать и построить диаграмму (SKH-диаграмму), связывающую предельную чувствительность $S_{\text{п}}$ (эквивалентную площадь $S_{\text{э}}$), условный коэффициент К выявляемости дефекта ($K = N_x - N_0 + |\Delta N|$) и глубину Н, для которой оценивается (настраивается) предельная чувствительность или на которой расположен выявленный дефект.

Сходимость расчетных и экспериментальных значений $S_{\text{п}}$ при α = (50 +/- 5)° не хуже 20 %.

Пример построения SKH-диаграммы и определения предельной чувствительности $S_{\text{п}}$ и эквивалентной площади $S_{\text{э}}$ представлен ниже.



ПРИМЕРЫ

Контроль швов стыковых сварных соединений листов толщиной 50 мм из малоуглеродистой стали выполняют при помощи наклонного преобразователя с известными параметрами: β, r_1, c_{l_1}. Частота ультразвуковых колебаний, возбуждаемых преобразователем, лежит в пределах 26,5 МГц +/- 10 %. Коэффициент затухания δ_t = 0,001 мм$^{-1}$.

При измерении по стандартному образцу СО-2 установлено, что α = 50°. SKH-диаграмма, рассчитанная для изложенных условий и b = 3 мм, H_0 = 44 мм по формуле, приведенной выше, показана на чертеже.

Пример 1.

Измерением установлено, что f = 2,5 МГц. Эталонирование осуществляется по стандартному образцу предприятия с цилиндрическим отверстием диаметром 6 мм, расположенным на глубине H_0 = 44 мм, форма и чистота поверхности образца соответствует форме и чистоте поверхности контролируемого соединения.

Показание аттенюатора, соответствующее максимальному ослаблению, при котором еще звуковым индикатором регистрируется эхосигнал от цилиндрического отверстия в образце, составляет N_0 =38 дБ.

Требуется определить предельную чувствительность при данной настройке дефектоскопа (N_x=N_0=38 дБ) и поиске дефектов на глубине H = 30 мм.

Искомое значение предельной чувствительности на *SKH*-диаграмме соответствует точке пересечения ординаты H = 30 мм с линией K=N_x=N_0=0 и составляет $S_п$≈ 5 мм^2.

Требуется настроить дефектоскоп на предельную чувствительность $S_п$ = 7 мм^2 для глубины расположения искомых дефектов H = 65 мм, N_0 = 38 дБ.

Заданным значениям $S_п$ и H по *SKH*-диаграмме соответствует K=N_x=N_0 = -9 дБ.

Тогда N_x=K+N_0 = -9 + 38 = 29 дБ.

Пример 2.

Измерением установлено, что f = 2,2 МГц. Настройка осуществляется по стандартному образцу СО-2 (H_0 = 44 мм). Путем сопоставления амплитуд эхо-сигналов от одинаковых цилиндрических отверстий в листах контролируемого соединения и в стандартном образце СО-2 установлено, что ΔN = -6 дБ.

Показание аттенюатора, соответствующее максимальному ослаблению, при котором еще звуковым индикатором фиксируется эхосигнал от цилиндрического отверстия в СО-2, составляет N_0 = 43 дБ.

Требуется определить эквивалентную площадь выявленного дефекта. В соответствии с измерениями глубина расположения дефекта H = 50 мм, а показание аттенюатора, при котором еще фиксируется эхосигнал от дефекта, N_x = 37 дБ.

Искомое значение эквивалентной площади $S_э$ выявленного дефекта на SKH-диаграмме соответствует точке пересечения ординаты H = 50 мм с линией $K = N_x - (N_0 + \Delta N)$ = 37 – (43 – 6) = 0 дБ и составляет $S_э \approx 14$ мм^2.

Приложение 5

ИЗМЕРЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В РЕЖИМЕ БЕЗНУЛЕВОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ТЕНЗОМЕТРИИ (ГОСТ Р 52890)

Принципиальную возможность измерения напряжений в режиме безнулевой акустической тензометрии, когда по каким-либо причинам невыполнимы акустические измерения до возникновения искомых напряжений, определяют для труб конкретной спецификации на основе имеющихся баз данных или экспериментально.

В режиме безнулевой акустической тензометрии измеряют задержки импульсов упругих волн, соответствующие текущему напряженному состоянию материала. При этом выбирают базовые значения временных задержек сдвиговых и продольной волн так, чтобы число эхоимпульсов было для них одинаковым. Если по каким-либо причинам это невозможно, в расчетных алгоритмах учитывают соответствующий коэффициент пересчета.

При отсутствии необходимых баз данных начальные значения акустических параметров, соответствующие ненапряженному состоянию материала трубы, определяют экспериментально (на ненагруженных частях трубы, аналогичных трубах, образцах – представителях материала трубы или непосредственно в точке измерений другими акустическими или иными способами).

Основными сведениями для принятия решения о принципиальной возможности оценки напряженного состояния материала труб в режиме безнулевой акустической тензометрии являются: технология изготовления (бесшовные, одношовные, двухшовные), класс прочности и (или) марка стали, завод-изготовитель, которые приводятся в технических документах на трубы.

Дополнительные сведения об акустических свойствах материала труб получают экспериментально. Для этого выбирают не менее пяти контрольных точек, равномерно расположенных по периметру трубы, и столько же точек по длине трубы. В этих точках определяют величины t_1 (задержка импульса упругой сдвиговой волны, поляризованной в осевом направлении, при текущем уровне напряжений, мкс); t_2 (задержка импульса упругой сдвиговой волны, поляризованной в окружном направлении, при текущем уровне напряжений, мкс); t_3 (задержка импульса упругой продольной волны при текущем уровне напряжений, мкс).

Желательно проводить измерения на ненагруженных частях трубопровода или аналогичных ненагруженных трубах. Допускается проводить измерения непосредственно на действующем трубопроводе при условии, что достоверно известны значения действующих напряжений в точках измерений.

Предварительная оценка принципиальной возможности измерения напряжений в режиме безнулевой акустической тензометрии основана на сравнении параметров акустической анизотропии в указанных контрольных точках. Вычисляют величины Δa_r – разброс значений параметра анизотропии по периметру трубы и Δa_l – разброс значений параметра анизотропии по ее длине.

Если выполняются неравенства

$$\Delta a_r \le 0{,}2\,\%;\ \Delta a_l \le 0{,}2\,\%, \qquad (1)$$

то допускается возможность измерения напряжений в режиме безнулевой акустической тензометрии, при этом ошибку определения напряжений оценивают по формулам:

– для одноосного напряженного состояния

$$\Delta\sigma_z = \left|D\right|\Delta a; \qquad (2)$$

– для двухосного напряженного состояния

$$\Delta\sigma_z = \left|K_1\right|\Delta d_1,\ \Delta\sigma_t = \left|K_1\right|\Delta d_2, \qquad (3)$$

где Δd_1, Δd_2 – разброс величин $d_1 = \dfrac{t_1}{t_3},\ d_2 = \dfrac{t_2}{t_3}$.

Рекомендуется применять режим безнулевой акустической тензометрии в том случае, если соответствующие ошибки не превышают 30 % предела текучести.

Если Δa_l >0,2 %, то ошибка определения напряжений может достигать значения предела текучести материала трубопровода и превышать его. В этом случае либо принимают решение о нецелесообразности осуществления безнулевой акустической тензометрии для труб такой спецификации, либо о применении дополнительных акустических или иных способов определения собственной акустической анизотропии материала в точке измерений.

Если Δa_l <0,2 %, но Δa_r >0,2 %, то возможность измерения напряжений в режиме безнулевой акустической тензометрии обусловлена привязкой начальных акустических параметров к точкам, расположенным на одинаковом расстоянии от сварного шва (для прямошовных труб), или применением дополнительных акустических или иных способов определения собственной акустической анизотропии материала в точке измерений.

В этом случае проводят измерения не менее чем на двух трубах с увеличением не менее чем в 2 раза числа точек измерений по периметру трубы.

Результаты исследования возможности измерения напряжений в режиме безнулевой акустической тензометрии оформляют в виде заключения.

О Г Л А В Л Е Н И Е

ПРЕДИСЛОВИЕ ... 3

ВВЕДЕНИЕ ... 5

1. ВИДЫ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ... 6
1.1. Виды и средства измерений ... 6
1.1.1. Классификация средств измерения ... 6
1.1.2. Выбор метода измерений ... 8
1.1.3. Принципы выбора средств измерений ... 10
1.2. Методы и средства измерения массы строительных материалов ... 12
1.3. Методы и средства измерения геометрических размеров ... 14
1.3.1. Средства измерения длины ... 15
1.3.2. Средства и методы измерения углов ... 40
1.3.3. Измерение шероховатости поверхности ... 44
1.3.4. Средства контроля горизонтального и вертикального положения поверхности ... 50
1.3.5. Цифровые отсчетные устройства ... 52
1.4. Методы и средства измерения температуры ... 55
1.5. Методы и средства измерения времени ... 62
1.6. Методы и средства измерений электрических и магнитных величин ... 63
1.6.1. Классификация электроизмерительных приборов ... 66
1.6.2. Методы измерения тока и напряжения ... 69
1.6.3. Измерение магнитных величин ... 79
1.7. Измерение оптических величин ... 85
1.7.1. Измерение силы света и освещенности ... 86
1.7.2. Измерение светового потока ... 88
1.7.3. Измерение яркости ... 90

2. МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ... 94
2.1. Классификация видов и методов неразрушающего контроля ... 94
2.2. Метод контроля напряженно-деформированного состояния материала конструкций. Порядок выбора ... 96
2.3. Акустический метод ... 97
2.3.1. Акустический метод оценки физико-механических характеристик материала элементов технических систем ... 97
2.3.2. Акустический звуковой метод определения открытой пористости, кажущейся плотности, плотности и предела прочности при сжатии огнеупорных изделий ... 102
2.3.3. Акустический метод контроля напряжений в материале трубопроводов ... 107
2.4. Методы ультразвукового контроля сварных соединений ... 113
2.5. Магнитный метод неразрушающего контроля механических свойств и микроструктуры металлопродукции ... 124
2.6. Магнитопорошковый метод ... 125
2.7. Радиационные методы дефектоскопии ... 134
2.7.1. Методика радиографического контроля ... 135
2.7.2. Электрорадиографический метод ... 144

2.7.3. Радиоскопический метод 149
2.7.4. Радиометрический метод 152
3. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИСПЫТАНИЙ 153
3.1. Классификация испытаний 153
3.2. Организация испытаний 166
3.3. Виды испытаний 168
3.3.1. Факторы, воздействующие на объект 168
3.3.2. Климатические испытания 171
3.3.3. Механические испытания материалов 209
ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ 229
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 231
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК 232
ПРИЛОЖЕНИЯ 234

Учебное издание

Логанина Валентина Ивановна
Карпова Ольга Викторовна
Демьянова Валентина Серафимовна

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ,
ИСПЫТАНИЙ И КОНТРОЛЯ
Учебное пособие

Р е д а к т о р В.С. Кулакова
В е р с т к а Н.А. Сазонова

Подписано в печать 01.09.14. Формат 60×84/16.
Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.
Усл.печ.л. 15,3. Уч.-изд.л. 16,5. Тираж 80 экз.
Заказ №292.

Издательство ПГУАС.
440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28.