

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Филиал БНТУ «Институт повышения квалификации и переподготовки кадров
по новым направлениям развития техники, технологии и экономики БНТУ»

Кафедра «Метрология и энергетика»

ПОВЕРКА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ МЕХАНИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Учебно-методическое пособие для руководителей и специалистов метрологических служб предприятий и организаций, слушателей курсов повышения квалификации, студентов технических ВУЗов

Под редакцией О.П. Реута, В.Л. Гуревича

Электронный учебный материал

Минск 2016

УДК 006.91:519.2(035)

ББК 30.10

Р44

Авторы

О.П. Реут, В.Л. Гуревич, Л.М. Евсиевич, Е.П. Галат, А.А. Новиков

Под редакцией О.П. Реута, В.Л. Гуревича

Рецензент

Д.В. Василевский, заместитель начальника Испытательного центра БелГИСС

В учебно-методическом пособии подробно рассмотрены вопросы проведения поверки приборов общего применения, получивших наиболее широкое распространение в механических измерениях: массы, силы и твердости. Данное учебно-методическое пособие представляет интерес для руководителей и специалистов метрологических служб предприятий и организаций, слушателей курсов повышения квалификации, а так же студентов технических ВУЗов.

Белорусский национальный технический университет
пр-т Независимости, 65, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.(017)292-77-52 факс (017)292-91-37
E-mail: kme-ipk@mail.ru
<http://www.bntu.by/>
Регистрационный № БНТУ/ИПКиПК-61.2016

© БНТУ, 2016
© Реут О.П., Гуревич В.Л. 2016

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| Введение | 5 |
| Глава 1 Классификация, нормы точности и поверка мер массы | 7 |
| 1.1. Назначение гирь | 7 |
| 1.2. Метрологические требования | 8 |
| 1.3. Поверка мер массы | 9 |
| 1.4. Метод двойного взвешивания (Метод Гаусса) | 9 |
| 1.5. Метод замещения (Метод Борда) | 10 |
| 1.6. Метод замещения (Метод Менделеева) | 10 |
| 1.7. Весы неавтоматического действия. классификация | 11 |
| 1.8. Поверка лабораторных весов | 14 |
| 1.9. Весы и весовые дозаторы автоматические непрерывного действия | 16 |
| 1.10. Поверка весов и весовых дозаторов непрерывного действия | 17 |
| 1.11. Дозаторы весовые автоматические дискретного действия | 18 |
| 1.12. Весы автоматические для взвешивания транспортных средств в движении и измерения нагрузок на оси | 20 |
| 1.13. Классы точности | 20 |
| 1.14. Поверка автомобильных весов для взвешивания ТС в движении и измерении нагрузок на оси | 21 |
| 1.15. Весы вагонные для взвешивания железнодорожных транспортных средств в движении | 21 |
| Глава 2 Средства измерения силы и их метрологическое обеспечение | 24 |
| 2.1. Приборы и методы измерения усилий | 24 |
| 2.2. Эталонные силовоспроизводящие машины и эталонные динамометры | 26 |
| 2.2.1 Метрологические Требования и поверочная схема для средств измерения силы | 26 |
| 2.2.2 Эталонные переносные динамометры 1-го разряда | 27 |
| 2.2.3 Эталонные силовоспроизводящие машины 2-го разряда | 27 |
| 2.2.4 Эталонные динамометры 3-го разряда | 29 |
| 2.2.5 Поверка эталонных динамометров 3-го разряда | 29 |
| 2.2.6 Рабочие динамометры | 32 |
| 2.2.7 Поверка рабочих динамометров | 33 |
| 2.3. Машины для испытаний статической нагрузкой на растяжение, сжатие, изгиб | 34 |
| Нормативные документы | 40 |

| | | |
|---------|---|----|
| Глава 3 | Средства Измерения твердости и их метрологическое обеспечение | 41 |
| 3.1. | Основы измерения твердости | 41 |
| 3.2. | Основные методы измерения твердости | 42 |
| 3.2.1 | Твердость по Бринеллю | 42 |
| 3.2.2 | Метод Виккерса | 44 |
| 3.2.3 | Метод Роквелла | 45 |
| 3.3. | Поверочные схемы для средств измерения твердости | 47 |
| 3.4. | Методы поверки твердомеров | 50 |
| 3.5. | Динамические методы измерения твердости | 54 |
| 3.6. | Поверка динамических твердомеров | 56 |
| | Список рекомендуемой литературы: | 57 |

ВВЕДЕНИЕ

Во всех отраслях народного хозяйства и при проведении разнообразных научно-исследовательских работ находят широкое применение различные методы, приборы и системы для измерения массы, силы и твердости.

Количественный учет и контроль массы товарной продукции осуществляется на всех стадиях: при производстве, переработке, заготовке, транспортировке и реализации. Современный парк серийно выпускаемых приборов позволяет выполнять операции взвешивания определенной продукции с различной точностью и производительностью в зависимости от особенностей самого объекта измерения и технологического процесса его производства, транспортировки, расфасовки и показатели точности и производительности средств измерения массы, применяемых для учета конкретной продукции оказываются особенно важными, поскольку повышение этих показателей неизбежно связано с увеличением затрат на измерения, а снижение - с потерями от неточного учета или с потерями, связанными со снижением производительности технологических процессов.

Анализ современных требований к средствам измерения массы, обусловленных достижениями науки, техники, производства и сферы потребления позволяет выделить некоторые общие направления по которым идет совершенствование весоизмерительной техники, независимо от области ее применения:

- повышение точности и производительности весовых операций;
- автоматизация процессов получения, обработки, хранения и выдачи измерительной информации;
- унификация измерительной информации и согласование её с устройствами аналитической и вычислительной техники.

Разностороннее применение различных материалов в промышленности и строительстве вызывает необходимость изучения их свойств (прочности, упругости, вязкости, выносливости, ползучести, твердости и износостойкости) с учетом конкретных условий. Для этого разработаны различные методы испытаний, которые проводятся с помощью специальных машин и приборов. Результаты проводимых испытаний ложатся в основу справочных пособий конструкторов и технологов, что позволяют осуществлять подбор материалов с необходимыми физико-механическими свойствами для проектирования и изготовления различных механизмов, машин, сооружений, изделий легкой промышленности.

Испытаниям подвергаются образцы из исследуемых материалов в основном стандартных форм и размеров. Для получения сопоставимых результатов форма и размеры образцов стандартизованы. В некоторых случаях для испытаний отбирают готовые изделия, деталь или узел. Условия испытаний образцов должны по возможности совпадать с условиями эксплуатации изделия. С этой целью иногда на образцах моделируют искусственные пороки, например, делают надрез (чтобы изменить их поперечное сечение) для оценки прочности и выносливости деталей с выточками или резкими переходами сечений.

В некоторых случаях испытания проводят при повышенных или пониженных температурах или при воздействии на образец различных агрессивных сред.

За единицу силы в системе измерений (СИ) принят ньютон (Н). Ньютон – это сила, которая придает массе 1 кг в направлении действия этой силы ускорение 1 м/с^2 . Так взаимосвязаны средства измерения массы и силы.

Одной из наиболее важных после прочностных характеристик является характеристика твердости материалов. Испытания на твердость относятся к неразрушающим методам контроля, позволяющим в подавляющем большинстве случаев использовать деталь по прямому назначению без дополнительных затрат. Существуют довольно достоверные данные о связи величины твердости с пределом текучести, прочности, а это, в свою очередь, позволяет отказаться от изготовления специальных образцов для проведения механических испытаний и заменить их более простыми испытаниями на твердость.

Испытания на твердость широко распространены в промышленности и прикладной науке. В мировой практике стандартизованы три основные шкалы для статического определения твердости – Бринелля, Виккерса и Роквелла. В последние десятилетия появились новые тенденции и измерения твердости, в частности динамические методы, основанные на различных принципах, но все они опираются на классические шкалы статистических методов определения твердости.

ГЛАВА 1 КЛАССИФИКАЦИЯ, НОРМЫ ТОЧНОСТИ И ПОВЕРКА МЕР МАССЫ

Меры массы – гири, которые предназначены для хранения, воспроизведения единицы массы, передачи размера единицы массы от эталона эталонным и рабочим средствам измерений, а так же для поверки эталонных и рабочих мер и приборов.

В зависимости от назначения различают гири используемые:

- в качестве эталонных для поверки весов;
- в качестве эталонных гирь для поверки и калибровки гирь более низкого класса точности;
- в качестве рабочих гирь совместно с весами.

Метрологические и технические требования к гирям регламентированы ГОСТ OIML R 111-1-2009 «Гири классов $E_1, E_2, F_1, F_2, M_1, M_{1-2}, M_2, M_{2-3}, M_3$. Часть 1. Метрологические и технические требования».

Стандарт распространяется на гири, номинальные значения которых составляют от 1 мг до 5000 кг, классов точности $E_1, E_2, F_1, F_2, M_1, M_{1-2}, M_2, M_{2-3}, M_3$.

1.1. Назначение гирь

Класс E_1 . Гири, предназначены для обеспечения прослеживаемости от национальных эталонов массы (со значениями, полученными от международного прототипа килограмма) к гирям класса E_2 и более низкого. Гири или наборы гирь класса E_1 должны иметь сертификат о калибровке (свидетельство о поверке).

Класс E_2 . Гири, предназначенные для поверки или калибровки гирь класса F_1 и для использования с весами специального класса I. Гири или наборы гирь класса E_2 должны иметь сертификат о калибровке (свидетельство о поверке). Гири или наборы гирь класса E_2 могут быть использованы в качестве гирь класса E_1 при условии удовлетворения требованиям по шероховатости поверхности, магнитной восприимчивости и остаточной намагниченности, предъявляемым к гирям класса E_1 , и при наличии в их сертификате о калибровке (свидетельстве о поверке) соответствующих данных.

Класс F_1 . Гири, предназначенные для поверки или калибровки гирь класса F_2 и для использования с весами специального I и высокого II классов точности.

Класс F_2 . Гири, предназначенные для поверки или калибровки гирь класса точности M_1 и, если возможно, класса M_2 . Они так же предназначены для использования при важных коммерческих операциях (например, при взвешивании драгоценных металлов и камней) на весах высокого класса точности II.

Класс M_1 . Гири, предназначенные для поверки или калибровки гирь класса M_2 и для использования с весами среднего класса точности III.

Класс M_2 . Гири, предназначенные для поверки или калибровки гирь класса M_3 и для использования в общепринятых коммерческих операциях и с весами среднего класса точности III.

Класс M_3 . Гири, предназначенные для использования с весами среднего класса точности и, как правило, класса точности III.

Классы M_{1-2} и M_{2-3} . Гири от 50 до 5000 кг более низкого класса точности, предназначенные для использования с весами среднего класса точности III.

1.2. Метрологические требования

Пределы допускаемой погрешности (δ_m) установлены в таблице 1 ГОСТ OIML R 111-1-2009 и они относятся к условной массе:

Расширенная неопределенность.

Для каждой гири расширенная неопределенность U при $k=2$ условной массы должна быть не более одной трети пределов допускаемой погрешности, приведенной в табл. 1 ГОСТ OIML R 111-1-2009

$$U \leq \frac{1}{3}$$

Условная масса гирь m_c не должна отличаться от своего номинального значения m_0 более чем на предел допускаемой погрешности δ_m минус расширенная неопределенность:

$$m_0 - (\delta_m - U) \leq m_c \leq m_0 + (\delta_m - U)$$

ГОСТ устанавливает так же требования к форме гирь, конструкции гирь, материалу гирь, плотности, состоянию поверхности, подгонке, маркировке, упаковке, формам метрологического контроля и методам испытаний гирь.

Схема передачи размера единицы массы регламентирована ГОСТ 8.021-2005. Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений массы.

Эталонные гири (рабочие эталоны) подразделяются на 4 разряда (1, 2, 3 и 4 разряды).

В качестве эталонных СИ 1-го разряда используют гири номинальными значениями массы от $1 \cdot 10^{-6}$ до 20 кг, соответствующие классу точности E_2 по ГОСТ OIML R 111-1-2009, весы диапазонами измерений от $1 \cdot 10^{-5}$ до 0,6 кг, соответствующие специальному классу точности по ГОСТ OIML R 76-1-2011.

В качестве эталонных СИ 2-го разряда используют гири номинальными значениями массы от $1 \cdot 10^{-6}$ до 20 кг, соответствующие классу точности F_1 , гири номинальным значением массы 500 кг, весы диапазонами измерений от $1 \cdot 10^{-5}$ до 5 кг, соответствующие специальному и высокому классу точности.

В качестве эталонных СИ 3-го разряда используют гири номинальными значениями массы от $1 \cdot 10^{-6}$ до 20 кг, соответствующие классу точности F_2 , гири номинальным значением массы 500 кг, весы диапазонами измерений от $1 \cdot 10^{-5}$ до $1 \cdot 10^3$, соответствующие высокому классу точности.

В качестве эталонных СИ 4-го разряда используют гири номинальными значениями массы от $1 \cdot 10^{-6}$ до $5 \cdot 10^3$ кг, соответствующие классу точности M_1 , весы диапазонами измерений от $2 \cdot 10^{-3}$ до $2 \cdot 10^5$ кг, соответствующие среднему и обычному классу точности.

1.3. Поверка мер массы

Методика поверки гирь установлена в МИ 1747-87, ГСИ. Меры массы эталонные и общего назначения.

При проведении поверки должны быть выполнены следующие операции:

1. Внешний осмотр
2. Определение размеров гирь (выборочно, при выпуске из производства)
3. Определение шероховатости поверхности (выборочно, при выпуске из производства)
4. Определение массы гирь

Поверка гирь производится с помощью механических и электронных компараторов массы посредством сравнения с эталонной гирей.

При выборе эталонных средств поверки необходимо, чтобы соотношение пределов допускаемых погрешностей эталонов и поверяемых средств измерений было не более 1:3.

При проведении поверки должны быть соблюдены определенные условия для гирь разных классов точности в соответствии с методикой. Для контроля условий поверки должны быть применены:

- термометр с ценой деления не более $0,1^\circ\text{C}$;
- психрометр с погрешностью измерения относительной влажности не более 5%;
- барометр с погрешностью не более 1 кПа.

Перед проведением поверки должны быть выполнены подготовительные работы по очистке поверхности гирь.

Поверка проводится одним из методов точного взвешивания:

1.4. Метод двойного взвешивания (метод Гаусса)

1.4.1 Поверяемую гирю А помещают на правую чашку весов, а на левую чашку – эталонную гирю В и определяют положение равновесия весов $L'_{\text{ВА}}$.

1.4.2 Сличаемые гири меняют местами и снова определяют положение равновесия $L'_{\text{АВ}}$.

1.4.3 После этого операции, описанные в пп. 1.1 и 1.2, повторяют и определяют положение равновесия $L''_{\text{ВА}}$ и $L''_{\text{АВ}}$.

1.4.4 Массу поверяемой гири рассчитывают по формуле

$$A = B \pm 1/2(L_{BA} - L_{AB})d$$

где d – цена деления весов,

$$L_{BA} = (L'_{BA} - L''_{BA}) / 2;$$

$$L_{AB} = (L'_{AB} - L''_{AB}) / 2$$

Для электронных компараторов этот метод выглядит как метод ВААВ. На чашку весов поочередно помещаются эталонная, а затем поверяемая гири. Процедура повторяется дважды. Массу поверяемой гири рассчитывают по формуле

$$A = B + 1/2[(A_1 - B_1) + (A_2 - B_2)]$$

1.5. Метод замещения (метод Борда)

1.5.1 Эталонную гирю B , с которой производят сличение, помещают на правую чашку весов и уравнивают ее соответствующей тарой T , помещаемой на левую чашку, после чего определяют положение равновесия весов L'_{TB}

1.5.2 Затем эталонную гирю снимают и на ее место ставят поверяемую гирю A , определяют положение равновесия весов L'_{TA} .

1.5.3 После этого вновь производят операции, указанные в п.п. 2.1, 2.2 и определяют положения равновесия весов L'_{TB} и L'_{TA} .

1.5.4 Массу поверяемой гири рассчитывают по формуле

$$A = B \pm (L_{TA} - L_{TB})d$$

1.6. Метод замещения (метод Менделеева)

1.6.1 На правую чашку весов помещают сумму эталонных гирь, общая масса которых не более НПВ весов, уравнивают их тарой, помещаемой на левую чашку, и определяют положение равновесия весов $L_{\Sigma B}$.

1.6.2 Затем по следовательно каждую из эталонных гирь заменяют соответствующей по массе поверяемой гирей и определяют положение равновесия весов L_{A1} , L_{A2} и т.д.

1.6.3 Массу каждой поверяемой гири рассчитывают по формуле

$$A_1 = B_1 \pm (L_{A1} - L_{\Sigma B})d$$

При проведении поверки ведется протокол. Обработка результатов производится с применением средств вычислительной техники. Обработка результатов поверки гирь класса E_2 производится автоматически с использованием специально разработанной программы. Положительные результаты поверки гирь классов E_1, E_2, F_1, F_2 оформляют выдачей свидетельства о поверке установленной формы. На оборотной стороне свидетельства должны быть приведе-

ны номинальное и действительное значение массы к номинальной массе гирь. Положительные результаты поверки гирь классов M_1, M_2, M_3 оформляют нанесением поверительного клейма. Гири, не удовлетворяющие требованиям настоящих МИ, к применению не допускают; на них выдают заключение о непригодности с указанием причины несоответствия.

1.7. Весы неавтоматического действия. Классификация

Весы неавтоматического процесса взвешивания: весы, требующие вмешательства оператора во время процесса взвешивания для принятия решения о приемлемости результата взвешивания.

По области применения (эксплуатационному назначению) весы подразделяют на: вагонные, вагонеточные, автомобильные, монорельсовые, крановые, товарные, для взвешивания скота, для взвешивания людей, элеваторные, для взвешивания молока, багажные, торговые, медицинские, почтовые, лабораторные общего назначения и эталонные.

По точности взвешивания: специального, высокого, среднего и обычного классов точности.

По способу установки на месте эксплуатации на: встроенные, врезные, напольные, настольные, передвижные, подвесные, стационарные.

По виду уравновешивающего устройства на: механические, электромеханические (электронные).

По виду грузоприемного устройства на: бункерные, монорельсовые, ковшовые, конвейерные, крюковые, платформенные.

По способу достижения положения равновесия на: весы с автоматическим, полуавтоматическим и неавтоматическим уравновешиванием.

В зависимости от вида отсчетного устройства на: весы с аналоговым и дискретным отсчетным устройством.

Метрологические и технические требования к весам неавтоматического действия установлены в ГОСТ OIML R76-1-2011 «Весы неавтоматического действия. Часть 1. Метрологические и технические требования. Испытания». Стандарт идентичен по отношению к международной рекомендации МОЗМ R76-1:2006 «Весы неавтоматического действия».

В стандарт введено дополнительное (обязательное) приложение ДА «Методика поверки весов», которое не заменяет и не исключает требования указанной международной рекомендации. В РБ стандарт действует с 01.07.2013 г.

Стандарт устанавливает следующие классы точности весов:

- специальный – I
- высокий – II
- средний – III
- обычный – IIII

Пределы допускаемой погрешности в эксплуатации равны удвоенному значению пределов допускаемой погрешности при поверке.

При последующих поверках пределы допускаемой погрешности устанавливаются, как для первичной поверки.

Таблица 1 - Пределы допускаемой погрешности весов при первичной поверке

| Пределы допускаемой погрешности при первичной поверке | Для нагрузки m , выраженной в поверочных интервалах весов e | | | |
|---|---|----------------------------|--------------------------|------------------------|
| | Класс точности I | Класс точности II | Класс точности III | Класс точности III |
| $\pm 0,5e$ | $0 \leq m \leq 50000$ | $0 \leq m \leq 5000$ | $0 \leq m \leq 500$ | $0 \leq m \leq 50$ |
| $\pm 1,0e$ | $50000 \leq m \leq 200000$ | $5000 \leq m \leq 20000$ | $500 \leq m \leq 2000$ | $50 \leq m \leq 200$ |
| $\pm 1,5e$ | $200000 < m$ | $20000 \leq m \leq 100000$ | $2000 \leq m \leq 10000$ | $200 \leq m \leq 1000$ |

Поверка весов неавтоматического действия

Операции поверки

При поверке весов должны быть выполнены следующие операции:

- Внешний осмотр.
- Опробование.
- Определение метрологических характеристик весов:
 - реагирование (кроме весов с цифровой индикацией);
 - весы с неавтоматическим установлением показаний;
 - весов с аналоговой индикацией;
 - чувствительность (только весы с неавтоматическим установлением показаний);
 - повторяемость (размах) показаний;
 - погрешность;
 - при установке на нуль (только весы с цифровой индикацией, у которых $e=d$ или $e=2d$);
 - весы с неавтоматическим или полуавтоматическим устройством установки на нуль и без устройства слежения за нулем,
 - весы с автоматическим устройством установки на нуль и (или) устройством слежения за нулем;
 - при центрально-симметричном нагружении:
 - эталонные гири общей массой, достаточной для нагружения весов на M_{ax} ,
 - эталонные гири общей массой менее M_{ax} весов (использование метода замещения эталонных гирь);
 - при нецентрально нагружении:
 - весы с грузоприемным устройством, имеющим не более четырех опор;
 - весы с грузоприемным устройством, имеющим более четырех опор;
 - весы со специальным грузоприемным устройством;
 - весы для взвешивания грузов, прокатывающимся по грузоприемному устройству (весы для взвешивания транспортных средств, весы с рельсовым подвесом и т.д.);
 - передвижные весы;

- при наклоне весов (только для передвижных весов):
 - весы с индикатором уровня и устройством установки по уровню,
 - весы с автоматическим датчиком наклона,
 - весы с карданным амортизатором;
 - при работе устройства тарирования (уравновешивания или взвешивания тары):
 - погрешность при установке на нуль устройством тарирования (только весы с цифровой индикацией у которых $e=d$ или $e=2d$);
 - погрешность после компенсации или выборки массы тары;
 - погрешность устройства взвешивания тары.
- Оформление результатов поверки.

Средства поверки

При проведении поверки должны быть применены следующие основные и вспомогательные средства поверки.

Пределы допускаемой погрешности гирь не должны превышать $1/3$ пределов допускаемой погрешности поверяемых весов при данной нагрузке. Для гирь классов точности E_1 и E_2 допускается, чтобы расширенная неопределенность значений массы этих гирь не превышала $1/3$ пределов допускаемой погрешности поверяемых весов при данной нагрузке при условии долговременной стабильности массы этих гирь.

При поверке весов на месте эксплуатации вместо эталонных гирь допускается применять любые другие грузы (далее - замещающие грузы), масса которых стабильна и составляет менее $1/2$ M_{\max} весов.

Вместо $1/2$ M_{\max} доля эталонных гирь может быть уменьшена:

- до $1/3$ M_{\max} , если размах показаний весов не превышает $0,3e$;
- до $1/5$ M_{\max} , если размах показаний весов не превышает $0,2e$;

Значение размаха должно быть определено трехкратным нагружением весов, причем значение нагрузки, должно быть близко к значению, при котором происходит замещение эталонных гирь.

Прибор для измерения температуры окружающего воздуха, обеспечивающий погрешность измерения температуры не более $\pm 0,2^\circ \text{C}$ при поверке весов класса точности I, не более $\pm 1^\circ \text{C}$ – весов класса точности II, не более $\pm 2^\circ \text{C}$ – весов классов точности III и III.

Прибор для определения относительной влажности воздуха, обеспечивающий погрешность измерения относительной влажности воздуха не более $\pm 2\%$ при поверке весов класса точности I и не более $\pm 5\%$ - остальных классов точности.

Прибор для определения атмосферного давления (при поверке весов специального класса точности I).

Условия поверки и подготовка к ней

Условия поверки весов должны соответствовать условиям, указанным в эксплуатационной документации на весы конкретного типа.

Перед проведением поверки весы должны быть приведены в нормальное положение (выставлены по уровню) и прогреты в течении времени, указанной в эксплуатационной документации на весы.

Положительные результаты поверки оформляют протоколом поверки, выдачей свидетельства о поверке и (или) нанесением оттиска поверительного клейма в специально предусмотренных местах, указанных в описании типа на весы.

1.8. Поверка лабораторных весов

Общие технические требования для весов лабораторных установлены в ГОСТ 24104-2001. В зависимости от нормируемых значений метрологических характеристик весы лабораторные подразделяют на классы точности: специальный (I); высокий (II); средний (III).

Требования к поверке весов лабораторных установлены в ГОСТ 8.520-2005. Весы лабораторные. Методика поверки.

При проведении поверки лабораторных электронных весов должны быть выполнены следующие операции:

- Внешний осмотр
- Опробование
- Определение метрологических характеристик весов с $e=d$ и $e=2d$:
 - определение погрешности установки на нуль;
 - определение погрешности весов:
 - при центрально-симметричном положении нагрузки на грузоприемной платформе;
 - при нецентральной нагрузке на грузоприемной платформе;
 - после компенсации или выборки массы тары; -определение размаха результатов измерений;
 - определение порога чувствительности
- Определение метрологических характеристик весов с $e>5d$:
 - определение погрешности весов;
 - при центрально-симметричном положении нагрузки на грузоприемной платформе;
 - при нецентральной нагрузке на грузоприемной платформе;
 - после компенсации или выборки массы тары;
 - определение размаха результатов измерений;
 - определение порога чувствительности.

Общие технические требования для весов лабораторных равноплечих установлены в ГОСТ 24104-88. Согласно этому ГОСТ весы подразделяются на 1, 2, 3, 4 классы точности и 1а, II, III, IV разряды.

Требования к поверке весов лабораторных установлены в ГОСТ 8.520-84. Весы лабораторные образцовые и общего назначения. Методика поверки.

При проведении поверки лабораторных равноплечих весов должны быть выполнены следующие операции:

- Внешний осмотр
- Опробование
- Определение степени и равномерности успокоения колебаний коромысла весов
- Определение метрологических характеристик весов:
 - Эталонных 1а, 1, 2, 3, 4 разрядов и 3 класса с именованной шкалой без встроенных гирь или со встроенными гирями на неполную нагрузку:
 - цена деления ненагруженных весов и при наибольшем пределе взвешивания (НПВ) и погрешность от неравноплечести коромысла при НПВ;
 - размах показаний при НПВ и непостоянство показаний ненагруженных весов;
 - погрешность взвешивания при любых включениях встроенных гирь.
 - Образцовых 1а, 2, 3, 4 разрядов и 1, 2, 3 классов с именованной шкалой без встроенных гирь или со встроенными гирями на неполную нагрузку
 - погрешность взвешивания по шкале для ненагруженных весов и при НПВ и погрешность от неравноплечести коромысла при НПВ;
 - размах показаний при НПВ и непостоянство показаний ненагруженных весов;
 - погрешность взвешивания при любых включениях встроенных гирь.
 - Общего назначения 1 и 2 классов двухпризменных - погрешность взвешивания по шкале точного взвешивания:
 - размах показаний при НПВ и непостоянство показаний ненагруженных весов;
 - погрешность взвешивания при любых включениях встроенных гирь и их комбинациях.

Поверку весов специального и 1, 2 классов точности и разрядов проводят эталонными гирями, соответствующими классам точности E1, E2, F1 по ГОСТ 7328-2001. Поверку весов высокого и 3, 4 классов точности и разрядов проводят эталонными гирями, соответствующими классам точности E2, F1, F2 по ГОСТ 7328-2001. Поверку весов среднего класса точности проводят эталонными гирями, соответствующими классам точности F2, M1 по ГОСТ 7328-2001.

При этом отношение пределов допускаемой погрешности поверяемых весов при данной нагрузке к допускаемой погрешности определения массы гирь, используемых для поверки весов, должно быть не менее трех. Поверку весов следует проводить при нормальных условиях измерений по ГОСТ 8.395-80.

Изменение температуры воздуха в течение 1 ч должно быть не более 0,5° С при поверке весов специального класса точности и не более 2 ° С при поверке весов высокого и среднего класса точности.

В помещении не должно быть воздушных и тепловых потоков, вибраций.

Весы должны быть установлены таким образом, чтобы было исключено их одностороннее нагревание или охлаждение.

Весы должны быть установлены на виброзащитных фундаментах или кронштейнах.

Весы должны быть установлены по уровню с помощью регулировочных ножек.

Поверку весов специального и высокого классов точности следует проводить не менее чем через 12 ч, весов среднего класса - через 2-3 ч после сборки или регулировки.

Перед проведением поверки весы должны быть включены в сеть и выдержаны во включенном состоянии в течение интервала времени, указанного в эксплуатационной документации.

При проведении поверки ведется протокол. Положительные результаты поверки весов оформляют нанесением поверительного клейма или выдачей свидетельства о поверке установленной формы. На оборотной стороне свидетельства допускается указывать значения метрологических характеристик, полученные при поверке. При отрицательных результатах поверки весы к применению не допускают; на них выдают извещение о непригодности с указанием причины, поверительное клеймо гасят.

1.9. Весы и весовые дозаторы автоматические непрерывного действия

Общие технические требования на весы и весовые дозаторы непрерывного действия установлен в ГОСТ 30124-94 «Весы и весовые дозаторы непрерывного действия». Значения наибольших линейных плотностей взвешиваемого материала (наибольших погонных нагрузок) конвейерных весов должны быть выбраны из ряда R10 и R20 по ГОСТ 8032 от 1 до 1250 кг/м.

Значения наименьших линейных плотностей взвешиваемого материала (наименьших погонных нагрузок) конвейерных весов должны составлять не менее 20% от наибольших линейных плотностей.

Пределы допускаемых погрешностей конвейерных весов должны быть выбраны из ряда: $\pm 0,5$; ± 1 ; $\pm 1,5$; $\pm 2\%$ измеряемой массы.

Наименьший предел взвешивания должен составлять 0,1 массы материала взвешиваемого на конвейерных весах в течении 1 часа при наибольшей линейной плотности.

Конвейерные весы должны сохранять работоспособность при:

- скорости ленты конвейера не более 5 м/с по ГОСТ 22644
- ширине ленты конвейера, выбираемой из ряда: 400; 500; 650; 800; 1000; 1200; 1400; 1600; 2000; 3000.

Значения наибольших пределов производительности дозаторов должны быть выбраны из ряда:

0,4; 0,63; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,3; 10,0; 16,0; 25,0; 40,0; 63,0; 100,0; 160,0; 250,0; 400,0; 630,0 кг/г;

1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,3; 10,0; 16,0; 25,0; 40,0; 63,0; 100,0; 250,0; 400,0; 630,0; 1000,0; 2000,0; 4000,0 т/г.

Наименьший предел производительности дозаторов должен составлять 10% наибольшего предела производительности.

Пределы допускаемой погрешности дозаторов должны быть выбраны из ряда;

$\pm 0,25$; $\pm 0,5$; $\pm 0,6$; $\pm 1,0$; $\pm 1,5$; $\pm 2,0\%$ наибольшего предела производительности и нормированы в ТНПА при условии непрерывной работы дозатора в течение 6 минут.

1.10. Поверка весов и весовых дозаторов непрерывного действия

Методы и средства поверки дозаторов весовых непрерывного действия устанавливает ГОСТ 8.469-2002 «Дозаторы весовые непрерывного действия. Методика поверки», а весов конвейерных непрерывного действия – ГОСТ 8.005-2002 «Весы конвейерные непрерывного действия. Методика поверки».

Дозаторы непрерывного действия

При проведении поверки выполняются следующие операции:

- Внешний осмотр.
- Опробование.
- Определение метрологических характеристик.

При проведении поверки применяются в качестве средств поверки:

- весы неавтоматического действия
- устройство для отбора контрольных проб
- секундомер

Метрологические характеристики определяются на наименьшем и наибольшем пределах производительности. Если дозатор предназначен для дозирования материалов, поверку проводят при дозировании материалов наибольшей и наименьшей плотности.

Метрологические характеристики дозаторов определяют путем отбора не менее 3-х контрольных проб, продолжительность отбора каждой пробы ($6,00 \pm 0,25$) мин. Действительное значение пробы определяют на весах, погрешности которых должны быть в 3 раза меньше пределов допускаемой погрешности дозатора.

Определяют значение приведенной погрешности, которая не должна превышать допускаемую по ГОСТ 30124.

Результаты поверки оформляют протоколом и нанесением оттиска поверительного клейма и (или) выдачей свидетельства о поверке.

Весы непрерывного действия конвейерные

При выполнении поверки выполняются следующие операции поверки:

- Внешний осмотр;
- Опробование;
- Определение метрологических характеристик:
 - непостоянство показаний ненагруженных весов конвейерных весов

- относительная погрешность конвейерных весов при нагружении
При проведении поверки применяются следующие средства поверки:

- угломер по ГОСТ 5378
- рулетка по ГОСТ 7502
- весы неавтоматического действия
- специальное устройство для отбора проб
- секундомер

Погрешность весов определяется однократным измерением массы контрольной пробы для трех значений линейной плотности, близких к наименьшему, наибольшему и среднему. Действительное значение массы контрольной пробы, определяют на весах, погрешность которых не должна превышать 1/3 пределов допускаемой погрешности поверяемых весов.

Значение относительной погрешности определяется по формуле

$$\delta_{\text{м}} = \frac{G_{\text{cr}} - G}{G} \cdot 100$$

где G_{cr} - разность показаний суммирующего устройства после окончания и началом отбора пробы.

G - действительное значение массы пробы.

Результаты поверки оформляют протоколом и нанесением оттиска поверительного клейма и (или) выдачей свидетельства о поверки.

1.11. Дозаторы весовые автоматические дискретного действия

Метрологические и технические требования к дозаторам весовым автоматическим дискретного действия регламентированы ГОСТ 8.610-2012 «ГСИ. Дозаторы весовые автоматические дискретного действия. Часть 1. Метрологические и технические требования. Методы испытаний», который действует в РБ с 01.02.2016 взамен ГОСТ 10223-97.

Установлено 4 класса точности дозаторов дискретного действия $x(0,2)$, $x(0,5)$, $x(1)$, $x(2)$, ГОСТ 10223-97 допускал по согласованию с потребителем также классы точности $(2,5)$ и (4) .

В таблицах стандартов приводятся значения отклонений действительного значения массы поверяемой дозы от среднего значения массы всех проверяемых доз (МРД) при первичной поверке и при эксплуатации.

Поверка дозаторов весовых автоматических дискретного действия проводится по ГОСТ 8.523-2014 «ГСИ. Дозаторы весовые дискретного действия. Методика поверки», дата введения 01.01.2016, взамен ГОСТ 8.523-2004. Стандарт распространяется на дозаторы выпускаемые по ГОСТ 8.610-2012, а дозаторы выпущенные по ГОСТ 10223 поверяются по ГОСТ 8.523-2004.

При поверке дозаторов дискретного действия по ГОСТ 8.523-2004 выполняются следующие операции:

- Внешний осмотр;
- Опробование;

- Определение метрологических характеристик;
- Определение погрешности весового устройства дозатора;
- Определение отклонений действительных значений массы дозы от среднего значения;
- Определение отклонений среднего значения массы дозы от номинального значения.

При проведении поверки применяют следующие средства поверки: секундомер, гири класса точности M_1 по ГОСТ OIML R 111-1-2009, весы неавтоматического действия, лабораторные весы, весовое устройство поверяемого дозатора.

Действительное значение массы каждой контрольной дозы определяется взвешиванием на весах или на весовом устройстве поверяемого дозатора. При этом предел допускаемой погрешности весов или весового устройства не должен превышать $1/3$ предела допускаемых отклонений действительных значений массы каждой дозы от среднего значения.

При поверке дозаторов дискретного действия по ГОСТ 8.610-2012 выполняются следующие операции:

- Внешний осмотр.
- Идентификация программного обеспечения.
- Опробование.
- Выбор метода определения массы отдельных доз:
 - метод отдельной поверки;
 - метод интегральной поверки.
- Определение погрешности контрольного прибора:
 - определение погрешности установки нуля;
 - определение погрешности показаний перед округлением;
 - корректировка погрешности с учетом нуля.
- Использование материала при проведении поверки:
 - виды материалов для поверки;
 - выбор значения нагрузок при проведении поверки (min и max дозировки);
 - определение количества доз для проведения поверки (менее 1 кг → 60; от 1 кг до 10 кг → 30; от 10 кг до 20 кг → 20; свыше 25 кг → 10);
 - коррекция на массу частицы дозируемого материала.
- Определение метрологических характеристик дозатора:
 - определения отклонения действительного значения массы проверяемой дозы от среднего значения массы всех проверяемых доз (МРД);
 - определение массы точности $X(x)$.

При проведении поверки применяют следующие поверочное оборудование:

- контрольный прибор – в его качестве применяются весы неавтоматического действия (отдельный контрольный прибор, либо взвешивающий узел поверяемого дозатора);
- эталонные гири соответствующие требованиям ГОСТ OIML R 111-1-2009 или специальные гири, аттестованные в качестве эталонных;

- термометр по ГОСТ 28498, прибор для определения влажности воздуха.

Контрольный прибор и эталонные гири, используемые при поверке, должны обеспечивать контроль поверяемых доз с погрешностью не превышающей:

а) $1/3$ максимально допустимого отклонения каждой дозы и максимальной допустимой погрешности заданного значения, если контрольный прибор поверен непосредственно перед проведением дозатора.

б) $1/5$ максимально допустимого отклонения массы контрольной дозы и максимально допустимой погрешности заданного значения во всех остальных случаях.

Результаты поверки оформляются протоколом и нанесением оттиска поверительного клейма на дозатор и (или) выдачей свидетельства о поверке.

1.12. Весы автоматические для взвешивания транспортных средств в движении и измерения нагрузок на оси

Автоматические весы – средство измерений осуществляющие взвешивание без вмешательства оператора и выполняющие заранее установленную программу автоматических процессов, характерных для весов.

Автоматические весы для взвешивания транспортных средств (ТС) в движении: Автоматические весы, имеющие грузоприемное устройство и подъездные пути, определяющие полную массу ТС, нагрузки на оси и, если применимо, нагрузки на группы осей ТС во время пересечения им грузоприемного устройства весов.

Метрологические и технические требования к весам автоматическим для взвешивания транспортных средств в движении измерения нагрузок на оси с 01.09.2015 регламентированы ГОСТ 33242-2015 (с отменой СТБ 1845-2008), а методика поверки ГОСТ 8.646-2015 (с отменой СТБ 8013-2008).

Настоящие стандарты применимы к весам, которые

- установлены на контролируемых площадках для взвешивания;
- используются для определения и отображения полной массы осей движущегося ТС; и установлены таким образом, что скорость ТС контролируется.

Метрологические требования.

1.13. Классы точности

При определении полной массы ТС весы делятся на 6 классов точности: 0,2; 0,5; 1; 2; 5; 10.

При определении нагрузки на одиночную ось и, если требуется, нагрузки на группу осей весы делятся так же на 6 классов точности: А, В, С, D, Е и F.

Пределы допустимых погрешностей и отклонений приведены в таблице 2, 3, 4, 5 ГОСТ 33242-2015.

Кроме метрологических и технических требований к весам для взвешивания ТС в движении ГОСТ 33242- 2015 устанавливает методы и процедуры испытаний весов, и так же требования к подъездным путям.

1.14. Поверка автомобильных весов для взвешивания ТС в движении и измерении нагрузок на оси

При проведении первичной и периодической поверок весов должны быть выполнены следующие операции.

- Внешний осмотр.
- Проверка средств защиты.
- Определения сопротивления изоляции
- Опробование.
- Определение метрологических характеристик:
 - определение непостоянства показаний ненагруженных весов;
 - определение относительной погрешности весов при статическом нагружении;
 - определение независимости показаний весов от положения груза на весоизмерительной платформе;
 - определение порога чувствительности весов;
 - определение метрологических характеристик отдельных или комбинированных контрольных весов;
 - определение погрешности весов при статическом режиме взвешивания одиночных осей;
 - определение погрешности весов при взвешивании в движении;
 - определение погрешности весов при взвешивании в движении одиночных осей;
 - определение погрешности в взвешивании в движении группы осей;
 - определение погрешности при определении полной массы ТС в движении;
 - определение погрешности измерения скорости.
- Оформление результатов поверки.

При проведении поверки используются следующие эталонные и вспомогательные средства поверки : гири эталонные класса M_1 по ГОСТ OIML R 111-1-2009, массой от 1 до 2000 кг, грузоподъемная техника для наложения гирь, специальный стенд моделирующий нагрузку от колеса ТС, одно – двух – трех – четырех – пяти и шестиосные ТС на рессорной подвеске и двух – трехосный прицеп к нему, рулетка 3 класса точности по ГОСТ 7502, секундомер.

Результаты поверки весов заносят в протокол по форме обязательного приложения Г, выписывают свидетельства о поверке со сроком действия 6 месяцев, с указанием класса точности и контрольного числа калибровок.

1.15. Весы вагонные для взвешивания железнодорожных транспортных средств в движении

Общие технические требования к весам для взвешивания железнодорожных вагонов, вагонеток и составов из них, устанавливается ГОСТ 30414-96 «Весы для взвешивания транспортных средств в движении».

В зависимости от нормируемых значений веса подразделяют на четыре класса точности 0,2; 0,5; 1; 2.

Весы конкретного типа могут иметь различные классы точности при взвешивании в движении:

- расцепленного вагона, вагонетки;
- вагона, вагонетки в составе;
- составов из вагонов, вагонеток.

Так же допускаются различные классы точности при взвешивании транспортных средств с сыпучими и жидкими грузами.

Таблица 2 - Пределы допускаемой погрешности в зависимости от класса точности.

| Класс точности | Пределы допускаемой погрешности при взвешивании вагона, вагонетки с расцепкой и без | | Пределы допускаемой погрешности при взвешивании в движении состава из вагонов, вагонеток | |
|----------------|---|----------------------------------|--|--------------------------------------|
| | от НмПВ до 35%НПВ вкл., % от 35% НПВ | св.35% НПВ, % от измерения массы | от НмПВ хп до 35% НПВ хп вкл. % от 35% НПВ хп | св. 35% НПВ хп, % от измерения массы |
| 0,2 | ±0,1 | ±0,1 | ±0,1 | ±0,1 |
| 0,5 | ±0,25 | ±0,25 | ±0,25 | ±0,25 |
| 1 | ±0,5 | ±0,5 | ±0,5 | ±0,5 |
| 2 | ±1,0 | ±1,0 | ±1,0 | ±1,0 |

Примечание – значения пределов допускаемой погрешности для конкретных значений массы округляют до ближайшего большего значения кратного дискретности весов.

Пределы допускаемой погрешности в эксплуатации должны соответствовать удвоенным значениям.

Поверка весов для взвешивания железнодорожных транспортных средств в движении осуществляется по СТБ ГОСТ Р 8.598-2005 (ГОСТ Р 8.598-2003, IDT)

Операции поверки.

- Внешний осмотр.
- Опробование
- Определение метрологических характеристик:
 - определение погрешности весов при статическом взвешивании;
 - определение действительной массы контрольных вагонов;
 - определение погрешности весов при взвешивании в движении расцепленных вагонов, вагонов без расцепки и состава в целом;
 - определение погрешности весов при взвешивании расцепленного вагона;
 - определение погрешности весов при взвешивании в движении вагона в составе без расцепки;
 - определение погрешности весов при взвешивании в движении состава из вагонов в целом.

Средства поверки:

- контрольные вагоны.

- контрольные весы:

а) вагонные весы неавтоматического действия

б) вагонные весы для взвешивания вагонов в движении

в) поверяемые весы

- испытательный состав, состоящий из порожних, полностью и частично груженных контрольных вагонов и простых вагонов от 5 до 15 вагонов.

- весоповерочный вагон с гирями класса точности M_1

- гири класса точности M_1

Положительные результаты поверки оформляют протоколом поверки, выдачей свидетельства о поверке и нанесением оттиска поверительного клейма в специально предусмотренном месте.

ГЛАВА 2 СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ СИЛЫ И ИХ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

2.1. Приборы и методы измерения усилий

Сегодня трудно назвать какую-либо отрасль промышленности, которая могла бы обойтись без измерения силы. Любые машины, строительные конструкции, мебель, одежда и обувь, бытовая техника нуждаются в проведении испытаний на прочность, при которых к объекту прикладываются нагрузки, позволяющие оценить технические и потребительские свойства этого объекта или продукции. Средствами измерения силы широко пользуются и научно-исследовательские институты на стадии проектирования и внедрения в производство новых материалов и изделий.

«Классическая» формула для определения силы имеет вид: $F=ma$. Здесь F – сила, действующая на тело, m – масса и a – ускорение.

В качестве эталона силы применяют установки прямого нагружения, состоящие из набора мер массы, которые могут присоединяться к упругим элементам эталонных динамометров или датчиков силы, вызывая при этом их деформацию. Величина этой деформации может быть измерена механическими или электрическими измерителями.

Динамометрическая аппаратура по принципу действия может быть подразделена на три основные группы:

- 1) приборы, основанные на уравнивании измеряемой силы силой тяжести;
- 2) приборы, основанные на измерении деформаций;
- 3) приборы, основанные на измерении давления.

Приборы, основанные на уравнивании измеряемой силы известными силами тяжести, представляют собой рычажную систему, при помощи которой измеряемая сила уравнивается мерами массы (гирями). На этом принципе основаны весы, эталонные силовоспроизводящие машины и силоизмерители испытательных машин. Эти приборы имеют следующие преимущества: высокую точность и чувствительность; долговременную стабильность характеристик при минимальном уходе; отсутствие перемещений или очень малые перемещения точки приложения силы; малую зависимость показаний от изменения температуры; независимость от источников энергии; большой диапазон измерений.

Недостатки таких приборов – высокая стоимость; отсутствие универсальности; непригодность для дистанционной передачи показаний; трудность регистрации показаний, которая осуществляется за счет некоторой потери чувствительности; большие габаритные размеры, исключающие измерения в близко расположенных точках.

Приборы, основанные на измерении деформаций (динамометры), состоят из упругого элемента, воспринимающего силу, и устройств, преобразующих

деформации упругого элемента, пропорциональные действующей силе, в показания прибора. Эти приборы – наиболее распространенные средства измерения сил. Развитие проволочных и индуктивных преобразователей делает их еще более универсальными. Тип преобразователя оказывает решающее влияние на тип упругого элемента. По виду преобразователей динамометры с упругим звеном могут быть подразделены на следующие основные группы: с визуальным отсчетом с механическими преобразованиями; с потенциометрическими преобразователями; с индуктивными преобразователями; с проволочными преобразователями; основанные на принципе пьезоэффекта; магнитоупорные; вибро-частотные и др.

Простейшим типом динамометров с визуальным отсчетом и механическим преобразователем являются пружинные весы с цилиндрической пружиной, непосредственно связанной с указателем отсчетного устройства. Увеличение деформации силоизмерителя достигается применением рычажного механизма и отсчетного устройства с круговым циферблатом. Такие динамометры выпускают серийно для разных диапазонов измерений.

Динамометры с визуальным отсчетом и механическими преобразователями имеют ряд преимуществ: низкая стоимость; независимость от источников питания; универсальность и возможность применения в любом месте; малая зависимость показаний от изменений температуры в обычных диапазонах.

Недостатки таких динамометров – невозможность отчета и регистрации показаний на расстоянии, конструктивные сложности при создании самописцев.

Динамометры с проволочными или фольговыми тензопреобразователями отличаются большей универсальностью. Их преимущества: возможность дистанционной передачи и регистрации показаний; использование сигнала после усиления для регулирования параметров, функционально связанных с измеряемой силой; сравнительно невысокая стоимость; очень малые деформации под действием нагрузки; некоторая свобода установки по линии действия силы, так как погрешности вследствие несимметричного приложения нагрузки могут быть устранены применением нескольких преобразователей; показания нескольких динамометров могут быть отсчитаны на одном вторичном приборе; диапазоны измерений не ограничены.

Недостатками таких приборов являются: высокая стоимость вторичной показывающей и регистрирующей аппаратуры; при измерении переменных сил часто возникает необходимость в применении успокоителей; благодаря очень малым перемещениям (что является преимуществом с точки зрения эксплуатации) возникают трудности при установлении зависимости между выходным сигналом и размером перемещений; малое значение выходного сигнала и необходимость в его усилении; необходимость в источниках питания; необходимость в экранировании соединительных проводов при большой длине, влияющей на точность измерений.

Проволочные преобразователи (проволочные тензометры сопротивления) представляют собой отрезки проволоки диаметром 0,03-0,05 мм, наклеиваемые специальным методом на объект измерения. Принцип действия проволочных

преобразователей основан на изменении электрического сопротивления проволоки при ее деформации. В результате деформации изменяются геометрические размеры - длина и площадь поперечного сечения, а, следовательно, и сопротивление проволоки. Длина участка преобразователя, на котором измеряют деформацию, называется базой.

Проволочным преобразователям присущи многие достоинства, обеспечивающие их широкое применение в различных областях техники.

Основными недостатками проволочных преобразователей являются: малое относительное изменение сопротивления, что вызывает необходимость применения измерительной схемы большой чувствительности и специальной усиленной аппаратуры; наличие температурной погрешности.

2.2. Эталонные силовоспроизводящие машины и эталонные динамометры

2.2.1 Метрологические требования и поверочная схема для средств измерения силы

Измерение усилий в различных областях науки и техники регламентировано строгой системой передачи значения силы от государственного специального эталона к эталонным, а от них рабочим измерительным приборам. Эта система объединена в поверочную схему, разработанную Государственным комитетом СССР по стандартам – Государственный первичный эталон и Государственная поверочная схема для средств измерений силы – ГОСТ 8.065-85.

Поверочные схемы устанавливают соподчинение эталона и эталонных средств измерений, а также порядок и точность передачи единицы от эталона к эталонным средствам измерений, а от них – рабочим.

Эталон единицы силы представляет собой набор мер силы в четырех эталонных установках для воспроизведения единицы силы в диапазоне от 10 до 10^6 Н.

Государственный первичный эталон единицы силы применяют для передачи размера единицы силы эталонным динамометрам 1-го разряда методом прямого нагружения. Эталонные динамометры 1-го разряда применяют для калибровки или поверки эталонных средств измерений 2-го разряда.

В поле эталонных средств измерений, заимствованных из других поверочных схем, находятся эталонные меры массы класса M_1 . Для исключения возможной путаницы с применением мер массы, изготавливают меры силы, калиброванные по классу точности M_1 . Применяют их для поверки эталонных и испытательных машин с верхними пределами до 1000 Н в тех случаях, когда отсутствуют эталонные динамометры соответственно 1-го и 3-го разрядов с необходимыми диапазонами измерения. Эталонные меры силы применяют также для градуировки эталонных динамометров 3-го разряда и поверки рабочих динамометров в тех случаях, когда отсутствуют силовоспроизводящие машины 2-го разряда с необходимыми диапазонами измерений.

К эталонным средствам измерений 2-го разряда относятся эталонные силовоспроизводящие машины 2-го разряда с диапазонами измерений до 10^6 Н и

силовоспроизводящие машины 2-го разряда с диапазонами измерений свыше 10^6 Н. Эти машины по принципу действия разделяют на рычажные и гидравлические. Их калибруют и поверяют по эталонному динамометру 1-го разряда или по группе таких динамометров, установленных параллельно.

Предел допускаемой относительной погрешности воспроизведения силы эталонными средствами измерений 2-го разряда в зависимости от диапазона воспроизводимых сил должен находиться в пределах от 0,02 % до 0,05 %.

Эталонные средства измерений 2-го разряда применяют для поверки и калибровки эталонных средств измерений 3-го разряда методом нагружения. Соотношение диапазонов допускаемых погрешностей эталонных средств измерений 1-го и 2-го разрядов должно быть не более 1:2.

2.2.2 Эталонные переносные динамометры 1-го разряда

Современные эталонные переносные динамометры 1-го разряда, предназначенные для калибровки и поверки эталонных силовоспроизводящих машин 2-го разряда, изготовлены на базе тензометрических преобразователей силы.

Чувствительным элементом у них является упругое тело, на которое по схеме моста наклеены проволочные тензорезисторы. Под воздействием приложенных нагрузок упругий элемент деформируется, что вызывает изменение электрических параметров тензорезисторов и разбаланс мостовой схемы, пропорциональный приложенной нагрузке. Вторичный прибор усиливает этот сигнал, и индицирует его на дисплее. Индикация может осуществляться в единицах силы или в электрических величинах. Эти динамометры обеспечивают измерение усилия с погрешностью, не превышающей от $\pm 0,06$ до $+ 0,1$ % от приложенной силы.

2.2.3 Эталонные силовоспроизводящие машины 2-го разряда

Эталонные силовоспроизводящие машины 2-го разряда являются стационарными установками и существуют двух типов – механические и гидравлические. Они предназначены для калибровки, поверки и градуировки эталонных динамометров 3-го разряда или рабочих динамометров.

Эталонные силовоспроизводящие машины 2-го разряда механического типа представляют собой рычажную систему, в которой усилие воспроизводится условными грузами, подвешиваемыми на длинное плечо рычага.

Гидравлические эталонные силовоспроизводящие машины 2-го разряда представляют собой поршневой манометр, соединенный с большим грузовым поршнем, связанным с поверяемым динамометром.

Наибольшее распространение получила образцовая силоизмерительная машина 2-го разряда механического типа на предельную нагрузку 50 кН.

Схема образцовой силоизмерительной машины 2-го разряда механического типа показана на рисунке 1.

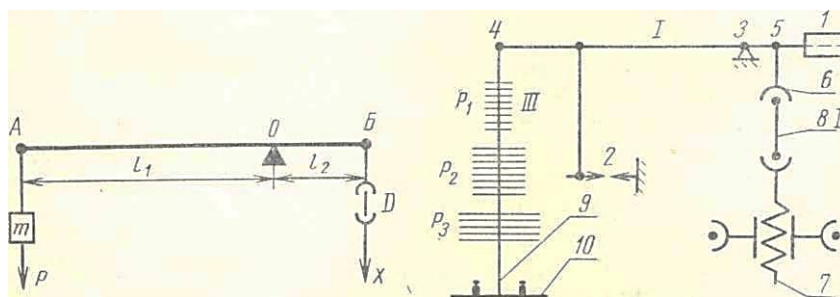


Рисунок 1. Схема образцовой силоизмерительной машины 2-го разряда механического типа

Основными узлами образцовой силоизмерительной машины 2-го разряда механического типа являются:

I – грузовой неравноплечий рычаг первого рода, на котором установлены передвижной противовес 1, указатель 2 равновесия рычага и три призмы: 3 – опорная, а 4 и 5 – грузоприемные;

II – рабочая часть, состоящая из верхнего захвата 6, подвешенного на серьге к призме 5 короткого плеча рычага, и механического привода 7, включающего в себя подъемный винт с червячной передачей, электромагнитную муфту и двухступенчатый червячный редуктор для нагружения поверяемого динамометра;

III – грузовая часть, состоящая из тяги 9, подвешенной на серьге к призме 4 длинного плеча рычага, тарельчатого поддона 10 для наложения гирь, уравновешивающих массу поверяемых динамометров и трех комплектов грузов P_1 , P_2 и P_3 , создающих на коротком плече рычага необходимую нагрузку.

Образцовые силоизмерительные машины 2-го разряда с неравноплечим грузовым рычагом первого рода изготавливают на предельные нагрузки 50 и 500 кН и 1 и 2 МН.

К длинному плечу неравноплечего рычага первого рода при помощи особого приспособления подвешивают грузы m , а к короткому – поверяемый динамометр D . Концы рычага являются точками приложения сил P и X , а точка O , находящаяся между точками A и B , служит опорой. Если X – неизвестная сила, приложенная к динамометру D при помощи особого натяжного механизма, и P – масса грузов m , свободно подвешенных в точке A рычага, то при уравновешенном рычаге

$$X = P \frac{l_1}{l_2}$$

Отношение плеч l_1/l_2 для данного рычага является величиной постоянной, поэтому силу X определить легко. Прилагая к плечу l_1 рычага AB различные массы m , при равновесии рычага получают силы X на плече l_2 , действующие на поверяемый динамометр D .

Эталонные силовоспроизводящие машины 2-го разряда поверяют эталонными переносными динамометрами 1-го разряда методом сравнения показаний, а также (при малых нагрузках) эталонными гирями.

2.2.4 Эталонные динамометры 3-го разряда

Эталонные динамометры 3-го разряда состоят из упругого тела и показывающего устройства. Различают механические и электронные динамометры. У механических динамометров упругое тело может быть в виде кольца, эллипса, квадрата, прямоугольного параллелепипеда. Поскольку деформация упругого элемента не должна выходить за рамки, установленные законом Гука (прямопропорциональная зависимость деформации от нагрузки), ее величину для удобства визуализации увеличивают при помощи различных преобразователей (самый простой пример – неравноплечий рычаг). В качестве показывающего устройства применяют индикаторы часового типа. Такие динамометры имеют неименованную шкалу, и поэтому подлежат градуировке или калибровке. Градуировка заключается в приложении нагрузки равными ступенями (как правило, в десяти точках, равномерно распределенных по диапазону измерения) с остановками на этих ступенях и снятием отсчета по индикатору. Операция проводится как при нагружении, так и при разгрузке динамометра. Эти работы проводят на эталонных силовоспроизводящих машинах 2-го разряда.

Допускается градуировка, поверка и калибровка динамометров с верхним диапазоном до 10^3 Н эталонными мерами силы.

Предел допускаемой относительной погрешности эталонных средств измерений 3-го разряда не должен превышать $\pm 0,5$ % или $\pm 0,25$ %. При проведении калибровки эталонных динамометров их классифицируют в соответствии с СТБ ISO 376 и тогда в зависимости от класса точности погрешность их воспроизводимости должна находиться в диапазоне от 0,05 % до 0,4 %.

2.2.5 Поверка эталонных динамометров 3-го разряда

Государственную поверку динамометров 3-го разряда осуществляют по ГОСТ 8.287-78 периодически, один раз в год.

При проведении поверки должны соблюдаться следующие условия:

- температура воздуха в помещении, где проводят поверку, от 10 до 35 °С, и не должна изменяться в течение всего времени более чем на 2 °С;
- для надежного выравнивания температур динамометра и окружающей среды динамометр должен быть доставлен на место поверки не менее чем за 12 ч до ее начала;
- должны отсутствовать внешние источники вибрации, вызывающие заметные на глаз колебания стрелки индикатора динамометра (или его отсчетного устройства).

При внешнем осмотре должно быть установлено:

- соответствие динамометров требованиям ГОСТ 9500—84 в части пределов измерения силы, цены наименьшего деления шкалы, комплектности, маркировки и упаковки;

- отсутствие механических и коррозионных повреждений на опорных и рабочих поверхностях упругого элемента передаточного механизма и отсчетного устройства;

- наличие приспособления для точной установки указателя на нуль или принятое за нуль положение на отсчетном устройстве динамометра.

В случае применения в качестве отсчетного устройства индикатора часового типа последний должен соответствовать требованиям ГОСТ 577-68 и должен быть установлен на динамометре с предварительным натягом.

У динамометров с отсчетным устройством в виде индикатора часового типа крепления кронштейна, планок, упоров и индикатора должно быть жестким. Головки опорных винтов, влияющих на показания динамометра, должны быть покрыты краской, целостность которой должна быть проверена перед поверкой.

К динамометру должны быть приложены: свидетельство (или его копия) с результатами предыдущей поверки или справка о произведенном ремонте. В случае отсутствия свидетельства или представления на поверку динамометра с просроченным свидетельством, а также после замены индикатора на динамометре, по результатам должно быть выдано свидетельство с сокращенным межповерочным интервалом.

Опробование.

- При опробовании индикатора его измерительный стержень должен двигаться плавно, без задержек. Это требование проверяют перемещением стержня индикатора.

- В случае применения иглы в конструкции динамометра поворот ее вокруг оси не должен вызывать перемещение стрелки индикатора более 0,1% протяженности шкалы, измеряемой в делениях.

- У динамометров с механической передачей в виде рычага, после смещения последнего вдоль оси индикатора, первоначальное положение стрелки должно самопроизвольно восстанавливаться или же меняться в пределах не более 0,1% протяженности шкалы, измеренной в делениях. Проверяется перемещением рычага на полную величину его хода.

- Для динамометров, имеющих устройство в виде индикатора типа ИЧ-10, изменение допускается не более 0,5 деления.

- В динамометрах иных конструкций (оптических, электрических и т. п.) опробование и проверка взаимодействия частей должны проводиться в соответствии с требованиями НТД по эксплуатации.

Определение метрологических параметров

Определение размаха показаний динамометра

Размах показаний динамометра определяют при его градуировке на эталонной силовоспроизводящей машине или эталонными мерами силы.

Относительные значения размаха от измеряемой величины при 3 рядах нагружений или разгрузений динамометра должны соответствовать требованиям ГОСТ 9500-84, разд. 2.

При градуировке на эталонной силовоспроизводящей машине динамометр подвешивают в захватах или устанавливают на опорной поверхности машины в соответствии с инструкцией по эксплуатации машины.

Массу динамометра после его установки уравнивают, и динамометр подвергают предварительному обжатию в течение 5 мин под действием предельного значения силы, измеряемой динамометром. Затем снимают нагрузку и проверяют невозвращение указателя в нулевое положение, которое не должно превышать 0,1% протяженности шкалы, измеренной в числе делений (для индикатора типа ИЧ-10 не более 0,5 деления). В случае невозвращения указателя на большее значение проводят повторное обжатие. Если после двух повторных обжатий не будет выполнено это требование, то динамометр к применению не допускают.

Затем динамометр нагружают и разгружают с остановками в точках, соответствующих 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 и 100% предельного значения силы, измеряемой динамометром.

Допускается градуировка в дополнительных точках, кроме указанных.

У динамометров, предназначенных для поверки приборов твердости, поверяемые точки должны соответствовать нагрузкам, воспроизводимым этими приборами. Шкала в указанных точках должна быть проверена (градуирована) при нагружении (прямой ход) и при разгрузке (обратный ход) три раза. Перемена знака нагрузки до окончания хода в одну сторону не допускается.

После каждого цикла (нагружение – разгрузка) динамометр, работающий на сжатие, должен быть сдвинут на опоре и вновь установлен в исходное положение, а динамометр на растяжение необходимо покачать. Отсчетное устройство перед новым циклом приводят в нулевое или принятое за нуль положение.

Снятие показаний по шкале поверяемого динамометра производят при установившемся положении указателя не ранее чем через 10 с после приложения или снятия нагрузки.

При поверке эталонными мерами силы на поверяемый динамометр, работающий на растяжение, навешивают, а на динамометр, работающий на сжатие, накладывают соответствующие меры.

Приложение и снятие нагрузки должны быть плавными (без ударов и рывков). Перемена знака нагрузки до окончания хода в одну сторону не допускается.

Порог чувствительности определяют нагружением силой, равной 0,1 верхнего предела измерения динамометра путем приложения к нему дополнительной нагрузки до заметного на глаз отклонения стрелки указателя. Значение порога чувствительности должно соответствовать требованиям ГОСТ 9500-84, раздел 2.

Градуировка динамометра

При выпуске из производства и ремонта в свидетельство заносят градуировочную характеристику, которая получена в результате измерений, описанных выше.

2.2.6 Рабочие динамометры

Особое место в измерениях усилия занимают тяговые динамометры, которые в метрологической практике обычно называются рабочими (ГОСТ 13837-79). Эти приборы предназначены для измерения усилий, развиваемых различными транспортными средствами (машинами, судами, летальными аппаратами), а также для измерения усилий в узлах и сооружениях при их испытаниях на прочность. Усилия, подлежащие контролю, всегда являются переменными. Изменение усилий в процессе их измерения либо обусловлено характером технологического режима работы механизма, либо случайными внешними факторами. Например, динамометры, предназначенные для измерения тяговых усилий различных машин, будут испытывать переменные нагрузки, зависящие от изменения скорости, мощности, сопротивления движению, профиля пути и т.п.

Динамометры, предназначенные для измерения усилий в подъемно-транспортных машинах, будут испытывать переменные нагрузки, зависящие от изменения веса груза, упругих свойств системы подвески и ряда других факторов. Даже динамометры, имеющие узкоцелевое назначение для измерения усилий при статических испытаниях конструкций, будут подвергаться на определенных стадиях переменным нагрузкам, связанным с резкими изменениями прочности испытываемой конструкции.

Динамометры общего назначения изготавливают трех типов: ДП – пружинные, ДГ – гидравлические и ДЭ – электрические. Последние два типа не нашли широкого применения на практике.

По способу регистрации измеряемых усилий динамометры разделяются на указывающие, считывающие и пишущие, из которых наиболее распространены указывающие.

Указывающие динамометры применяют, главным образом, для измерения статических усилий, возникающих в установленных на стендах конструкциях, при приложении к ним внешних сил и для измерения силы тяги.

Каждый тип динамометров имеет, по меньшей мере, три основных узла: силовое звено, измерительный механизм и передаточное устройство.

Силовое звено может состоять из упругих пружин различной конфигурации (винтовых, плоских, эллиптических, кольцевых и др.), которые могут воспринимать измеряемую силу непосредственно либо через передаточный механизм, или из гидравлической пары, рабочий цилиндр которой заполнен маслом либо другой жидкостью.

Измерительный механизм динамометра может быть указывающим или регистрирующим. Указывающие измерительные механизмы предназначены для отсчета мгновенных значений измеряемых величин или суммарных значений в интегрирующих приборах. Регистрирующие измерительные механизмы позволяют записывать результаты измерений на диаграммной бумаге с помощью самописца.

Передаточное устройство динамометров состоит из элементов, которые связывают силовое звено с указывающим или регистрирующим измерительным

механизмом. Из передаточных устройств наиболее распространены механические, электрические и гидравлические.

К механическим передаточным устройствам относятся всевозможные рычажные механизмы, посредством которых уменьшенная или увеличенная в несколько раз измеряемая сила передается пружине измерительного механизма. Встречаются реверсивные скобы, преобразующие измеряемую растягивающую силу в усилие, сжимающее измерительную пружину или датчик.

Электрические передачи состоят из мостовых и компенсационных схем или электронных усилителей с генераторами несущей частоты и выпрямительными, стабилизирующими и усилительными устройствами. В соответствии с электрическими схемами датчики соединяют с электроизмерительными приборами, регистрирующими изменения, происходящие в датчике.

Гидравлические передачи применяют в динамометрах, силовое звено которых заполнено той или иной рабочей жидкостью. Такие передачи служат для преобразования измеряемой силы в гидравлическое давление, считываемое по манометру или регистрируемое самопишущим прибором.

2.2.7 Поверка рабочих динамометров

Рабочие динамометры поверяют в соответствии с ГОСТ 13782-68 после выдержки в помещении, где производится поверка, для принятия ими температуры окружающего воздуха.

Поверка рабочих динамометров практически не отличается от поверки эталонных. Вначале проводится внешний осмотр, проверка функционирования частей, обжатие, коррекция нуля и определения метрологических характеристик при трехкратном нагружении-разгрузении динамометра с остановками в поверяемых точках.

Основную приведенную погрешность динамометра в процентах от верхнего предела измерений φ определяют по формуле

$$\varphi = \pm \frac{\Delta}{P_{\max}} \cdot 100$$

где Δ - абсолютная основная погрешность, равная наибольшей (по абсолютному значению) разности между показанием прибора и действительным значением измеряемой величины в поверяемой точке.

Для каждой поверяемой точки шкалы динамометра погрешность определяется отдельно для показаний при нагружении и разгрузении.

Основная погрешность не должна превышать для:

- динамометров 1-го класса $\pm 1 \%$;
- динамометров 2-го класса $\pm 2 \%$.

Особенность поверка динамометра путем сравнения его показаний с показаниями переносного эталонного динамометра 3-го разряда заключается в следующем.

Поверяемый динамометр и динамометр 3-го разряда последовательно устанавливают на испытательную машину и нагружают машиной. Действительные значения нагрузок устанавливаются по показаниям эталонного динамометра 3-го разряда. Показания испытательной машины во внимание не принимаются.

Аналогичные операции проводят в случае применения силозадающих установок с силоизмерительными приборами.

Порог реагирования динамометра определяют при третьем нагружении при проверке первой и последней точек шкалы динамометра. При этом под воздействием дополнительной нагрузки, соответствующей 0,5 деления шкалы, стрелка динамометра должна перемещаться на расстояние не менее 0,4 деления шкалы.

Вариацию показаний V динамометров определяют в процентах при нагрузке, равной 50 % верхнего предела измерений по формуле

$$V = \frac{|P_n - P_p|}{P_{\max}} \cdot 100$$

где P_n – среднее значение силы при возрастании нагрузки;

P_p – среднее значение силы при убывании нагрузки.

Вариация показаний не должна превышать абсолютного значения основной погрешности динамометра.

При проверке динамометров ведут протокол, в который вносят показания в каждой точке шкалы динамометра.

На динамометры, прошедшие проверку с положительным результатом, наносят поверительное клеймо или выдают свидетельство.

Динамометры, не удовлетворяющие требованиям ГОСТ 13782, не клеймят и к эксплуатации не допускают.

2.3. Машины для испытаний статической нагрузкой на растяжение, сжатие, изгиб

Статической называется нагрузка, постоянная или плавно возрастающая от нуля до некоторого наибольшего значения и затем остающаяся постоянной или незначительно изменяющаяся. При этом в процессе нагружения ускорение движущихся частей испытательной машины настолько мало, что возникающими в них силами инерции пренебрегают.

Все машины, применяемые для контрольно-приемочных испытаний статической нагрузкой на растяжение, сжатие, изгиб, кручение и срез, состоят из двух основных механизмов: для деформирования испытуемого образца вплоть до его разрушения и для измерения силы, с которой этот образец сопротивляется деформированию. Кроме того, испытательные машины имеют дополнительные устройства для закрепления образца и центрирования действующего на него усилия и др.

В зависимости от принципа действия механизма, служащего для деформирования образца (приложения нагрузки), машины подразделяют на два типа: с механическим и гидравлическим приводом. Каждый из них имеет свои преимущества и недостатки.

Сила сопротивления образца деформированию измеряется с помощью специальных механизмов (силоизмерителей). Наиболее часто в конструкциях испытательных машин применяют силоизмерители:

- маятниковые;
- рычажно-маятниковые;
- гидравлико-маятниковые;
- торсионные.

Маятниковый силоизмеритель – это силоизмеритель, в котором усилие (P), действующее на образец, определяется углом (α) отклонения маятника, массой (Q). Машины с маятниковым силоизмерителем (рисунок 2) выпускают на небольшие, до 600 Н, усилия поскольку дальнейшее увеличение диапазона измерений ведет к утяжелению массы маятника, а это вызывает необходимость увеличения жесткости всей конструкции, что делает ее громоздкой. Шкала у таких машин неравномерная. Для расширения диапазона измерений вводят дополнительные рычажные системы, позволяющие снизить массу маятника.

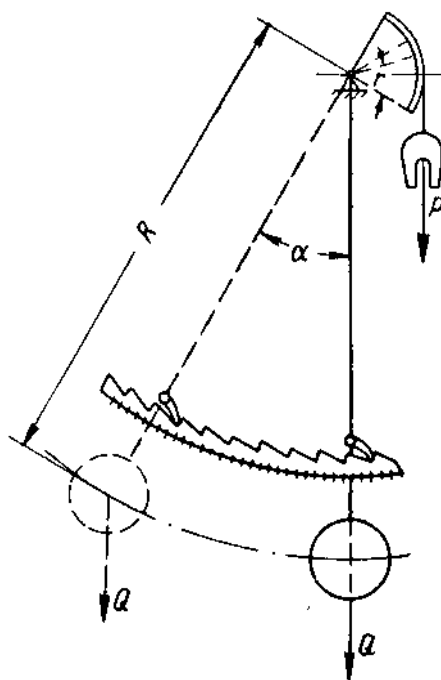


Рисунок 2. Схема машины с маятниковым силоизмерителем.

Схема машины с **рычажно-маятниковым силоизмерителем** приведена на рисунке 3. При приложении нагрузки к образцу усилие через систему рычагов передается маятнику, на конце которого находится груз, при помощи которого и происходит уравнивание. С маятником связана рейка, вращающая триб со стрелкой, которая показывает значение приложенной нагрузки на кру-

говой шкале. Маятник оснащен сменными грузами, что позволяет получить высокую точность измерений в широком диапазоне испытательных нагрузок.

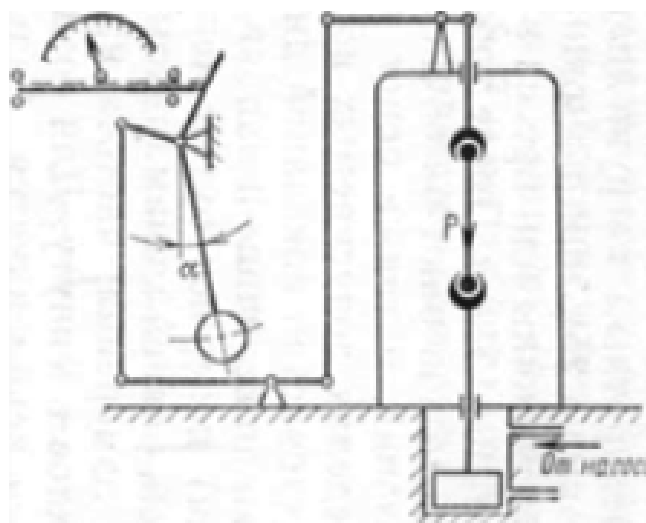


Рисунок 3 Схема машины с рычажно-маятниковым силоизмерителем.

Но и эти машины ограничены в диапазоне создания испытательных нагрузок до 50 кН. Для увеличения диапазона стали использовать гидравлические системы нагружения, в которых в качестве измерительной системы применяют **гидравлико-маятниковые силоизмерители** (рисунок 4).

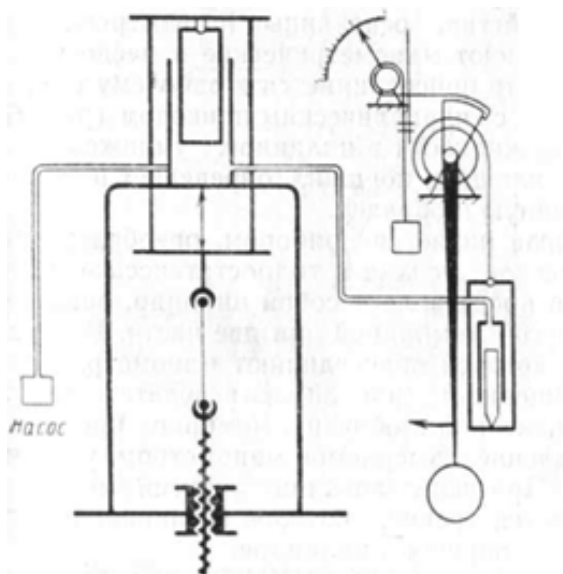


Рисунок 4. Схема универсальной машины с гидравлико-маятниковым силоизмерительным устройством

Маятниковым силоизмерительным устройством с гидравлической передачей усилия, действующего на образец, оборудуются только машины с гидравлическим приводом. Рабочая жидкость одновременно подается к рабочему и измерительному цилиндрам. Измерительный цилиндр связан гибкой ленточкой с массивным маятником, а тот через сектор связан с механизмом вращения стрелки, которая на круговой шкале показывает значение приложенной нагруз-

ки. Благодаря сменным грузам в одной машине реализуется несколько диапазонов измерений.

Торсионное силоизмерительное устройство (рисунок 5) основано на закручивании жестко закрепленного одним концом цилиндрического стального стержня (торсиона 8). Торсион закручивается от измерительной гидравлической пары (1, 4, 5, 6), соединенной трубопроводом (2) с рабочим цилиндром испытательной машины. <http://mash-xxl.info/info/5047> Угол закручивания торсиона пропорционален нагрузке, прилагаемой к образцу. По мере закручивания передаточный механизм (10) вращает стрелку на шкале (11) силоизмерителя. Изменение диапазонов измерения по шкалам осуществляется переключателем 3, который направляет рабочую жидкость под разные поршни (чем короче плечо, тем больше усилие).

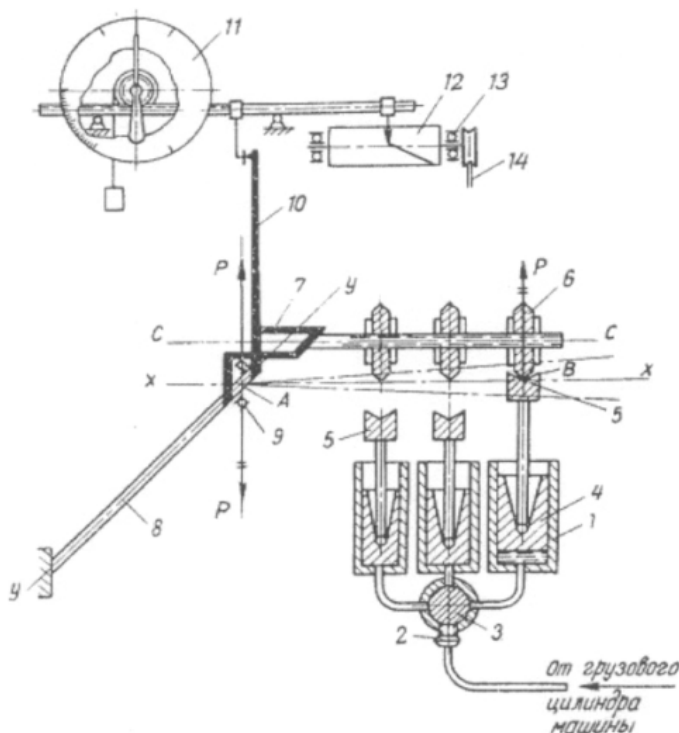


Рисунок 5. Схема торсионного силоизмерителя

Технические требования к испытательным машинам установлены в ГОСТ 28840-90, методы и средства поверки – в СТБ 8034-2011, методы калибровки – в СТБ ISO 7500-2011.

Поверка испытательных машин может быть прямой и косвенной.

Метод прямой поверки - с помощью эталонных мер силы (метод непосредственного нагружения).

Метод косвенной поверки - с помощью эталонных переносных динамометров.

Метод прямой поверки.

Метод поверки машин при помощи эталонных мер силы является наиболее точным, так как в этом случае для измерения силы служит сила тяжести мер, непосредственно воздействующая на силоизмерительный механизм.

Эталонные меры силы могут быть поверены с высокой степенью точности, значительно превышающей степень точности эталонных переносных динамометров 3-го разряда и других измерителей силы. Однако при данном методе поверки нельзя прилагать большие нагрузки. Приспособления для поверки указанным методом громоздки и тяжелы.

На практике метод непосредственного нагружения применяется главным образом при периодических поверках небольших разрывах машин с предельной нагрузкой до 1000 Н, предназначенных для испытания проволоки, тонких листовых материалов, резины, пластических масс и текстильных изделий.

Метод косвенной поверки.

Поверка с помощью образцовых переносных динамометров 3-го разряда.

Общие правила поверки машин для испытаний на растяжение, универсальных машин и машин для испытания строительных материалов на сжатие при помощи образцового динамометра 3-го разряда следующие:

- в процессе подготовки машины к поверке выбирают захваты и приспособления для установки и закрепления динамометра в поверяемой машине;
- динамометр закрепляют в захватах или устанавливают на опоре поверяемой машины так, чтобы растягивающие или сжимающие усилия, прилагаемые к нему, были направлены по его оси;
- приводят к нулевым или принятым за нуль отметкам шкалу силоизмерительного устройства и отсчетное приспособление динамометра;
- машину и заложенный в нее динамометр обжимают нагрузкой, величина которой равна предельному значению шкалы машины или динамометра; нагрузку выдерживают в течение 5 мин;
- машину разгружают и вновь устанавливают стрелки шкал силоизмерительного устройства и образцового динамометра на нулевые отметки.

Во время поверки стрелку индикатора динамометра плавно подводят к выбранному делению шкалы, соответствующему нагрузке на данной ступени, не допуская движения стрелки в обратном направлении, и одновременно производят отсчет по шкале поверяемой машины.

Показания силоизмерительного устройства машины проверяют, медленно нагружая ее не менее трех раз до предельного значения шкалы (прямой ход) и разгружая до нуля (обратный ход).

Машины, имеющие несколько шкал, поверяют по каждой шкале, начиная с 0,1 предельного значения шкалы, но не ниже 0,04 наибольшего усилия, характеризующего машину.

При поверке каждой шкалы выбирают не менее пяти нагрузок, равномерно распределенных в пределах рабочего диапазона. Рекомендуется выбирать нагрузки, соответствующие 10; 20; 50; 80 и 100% предельного значения шкалы. Отсчеты нагрузок по шкалам следует снимать с точностью не менее 0,5 деления шкалы.

Чтобы определить влияние сил трения, возникающих при вращении контрольной стрелки, на показания, рекомендуется производить дополнительный четвертый ход нагружения с подключенной контрольной стрелкой.

Машины с маятниковым силоизмерительным устройством, оборудованные храповыми зацеплениями, если можно, поверяют при опущенных храповиках.

Результаты поверки обрабатывают следующим образом. Для всех отсчетов, произведенных по шкале поверяемой машины при прямых и, соответственно, при обратных ходах, находят среднее арифметическое.

Погрешности показаний машины для каждой ступени нагружения определяют в виде относительных погрешностей δP , выраженных в Н (кН) по формуле:

$$\delta P = \frac{\bar{P}_i - P_i}{P_i} \cdot 100,$$

где P_i – номинальное значение нагрузки на данной ступени нагружения, Н (кН);

\bar{P}_i – средние показания машины на данной ступени нагружения, Н (кН).

Аналогично вычисляют и относительную погрешность для четвертого хода нагружения с подключенной контрольной стрелкой.

Размах показаний машины определяют по формуле

$$R_i = \frac{P_{i \max} - P_{i \min}}{\bar{P}_i} \cdot 100,$$

где $P_{i \max}, P_{i \min}$ – максимальное и минимальное значение нагрузки на данной ступени нагружения.

Для машин, оснащенных диаграммным аппаратом, определяют относительную погрешность записи показаний силоизмерителя. Для этого в процессе нагружения в точках наименьшего предела нагружения, при 50 % нагрузке и в точке наибольшего предела нагружения машины при достижении заданной нагрузки (по динамометру или мерам силы) на диаграмму наносят соответствующие отметки и затем сравнивают значения на диаграмме со значениями, воспроизведенными эталонами.

Относительную погрешность записи по нагрузкам определяют по формуле

$$\delta_{zi} = \frac{P_{zi} - P_i}{P_i} \cdot 100,$$

где P_{zi} – значение нагрузки, отсчитанное по диаграмме в поверяемой точке,

По требованию заказчика могут быть определены относительные погрешности записи деформации, записи перемещения активного захвата и определение относительной погрешности скорости перемещения активного захвата.

При поверке многошкальных машин может быть забракована одна (не наибольшая) шкала, но машина считается пригодной для работы.

При проведении калибровки силоизмерительных систем испытательных машин выполняют те же измерения, но обработка результатов отличается от обработки при поверке. В частности, при калибровке оценивают относительные погрешности точности, повторяемости, гистерезиса (при необходимости), нуля и относительное разрешение шкалы. По результатам расчетов машине присваивается класс точности (0,5, 1, 2 или 3). Поскольку процедура калибровки испы-

тательных машин пока не является широко востребованной, подробно останавливаться на этом вопросе не будем.

Нормативные документы

1. ГОСТ 8.065-85. ГСИ. Государственный первичный эталон и государственная поверочная схема для средств измерения силы.
2. ГОСТ 9500-84. Динамометры эталонные переносные. Общие технические требования.
3. ГОСТ 13837-79. Динамометры общего назначения. Технические условия.
4. ГОСТ 8.287-78. ГСИ. Динамометры эталонные переносные 3-го разряда. Методы и средства поверки.
5. ГОСТ 13782-68. Динамометры пружинные общего назначения. Методы и средства поверки.

| | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

ГЛАВА 3 СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ТВЕРДОСТИ И ИХ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

3.1. Основы измерения твердости

Твердость стали является одним из важнейших механических свойств стали. Вообще говоря, твердость материала не является его внутренним свойством. Поэтому ей нельзя дать точного и однозначного определения на основании фундаментальных единиц измерения – массы, длины и времени. Поэтому измерение твердости является результатом определенной процедуры измерения – метода. Сколько методов – столько и определений понятия «твердость».

Наиболее частое применяемое определение твердости металлов такое: «Твердость – это свойство материала сопротивляться местной пластической деформации, возникающей при внедрении в него более твердого тела, например, наконечника (индентора) испытательного прибора». Однако твердость может иметь и другие проявления такие как, например, жесткость, сопротивление царапанию, истиранию или резанию. Твердость металла дает ему способность сопротивляться необратимому деформированию – гибке, излому или изменению формы. Чем больше твердость металла, тем большее сопротивление он оказывает необратимой, например, пластической деформации. Это разнообразие проявлений твердости дает и разнообразие методов ее измерения.

Твердость материалов с давних пор оценивали по сопротивлению царапанию или резанию. Например, материал В царапает материал С, но не царапает материал А. И, наоборот, материал А царапает материал В только слегка, а материал В – очень сильно. Таким образом до сих пор оценивают относительную твердость минералов

Эта шкала, несмотря на невысокую точность, удобна для предварительной оценки твердости различных минералов непосредственно в полевых условиях, в геологоразведке, в камнеобработке, в ювелирном деле и т.п.

3.2. Основные методы измерения твердости

Для измерения твердости наиболее часто применяют методы статического вдавливания в материал шарика, алмазного конуса или алмазной пирамидки. К этим методам относятся:

- метод Бринелля по ГОСТ 9012-59 – стальной шарик;
- метод Роквелла по ГОСТ 9013-59 – алмазный конус и стальной шарик;
- метод Супер-Роквелла по ГОСТ 22975-78 – алмазный конус или стальной шарик;
- метод Виккерса по ГОСТ 2999-75 – алмазная пирамида;
- метод испытания микротвердости по ГОСТ 9450-75 – алмазная пирамидка.

3.2.1 Твердость по Бринеллю

Твердость по Бринеллю определяют по измерению диаметра отпечатка, оставленного на поверхности испытуемого материала твердосплавным шариком (индентором) при вдавливании его в материал нормированной силой. После снятия усилия по формулам или таблицам находят число (значение) твердости.

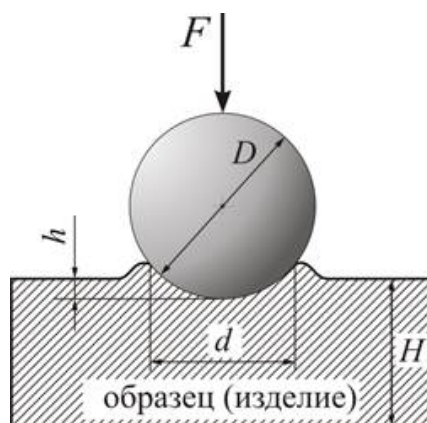


Рисунок 6. Схема измерения твердости по Бринеллю

Метод Бринелля относится к методам вдавливания. Испытание проводится следующим образом:

- вначале образец подводят к индентору, и, продолжая подъем образца, сжимают пружину шпинделя, освобождая индентор из посадочного места;
- затем вдавливают индентор в образец с плавно нарастающей нагрузкой в течение 2 – 8 с;
- после достижения максимальной нагрузки происходит выдержка ее в течение 10 – 15 с (для сталей);

- затем снимают приложенную нагрузку, отводят образец от индентора и определяют средний диаметр получившегося отпечатка.

Шероховатость поверхности образца (или площадки на изделии) R_a должна быть не более 2,5 мкм по ГОСТ 2789, если нет других указаний в нормативно-технической документации на металлопродукцию.

В качестве инденторов применяют шарики из твердого сплава диаметром 1; 2; 2,5; 5 и 10 мм. Величину нагрузки и диаметр шарика выбирают в зависимости от исследуемого материала.

При выборе условий испытаний следят за тем, чтобы толщина образца, как минимум, в 8 раз превышала глубину вдавливания индентора. И ещё важно контролировать диаметр полученного отпечатка, который должен находиться в пределах от $0,2 \cdot D$ до $0,6 \cdot D$, где D – диаметр индентора (шарика).

Расстояние между центром отпечатка и краем образца должно быть не менее 2,5 диаметров отпечатка d ; расстояние между центрами двух смежных отпечатков должно быть не менее четырех диаметров отпечатка.

Твёрдость по Бринеллю обозначается «HBW» и может рассчитываться двумя методами:

- метод восстановленного отпечатка;
- метод невосстановленного отпечатка.

По методу восстановленного отпечатка (наиболее часто применяемому на практике) твёрдость рассчитывается как отношение приложенной нагрузки к площади поверхности отпечатка:

$$HBW = \frac{0,102F}{\pi \frac{D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

где: F – приложенная нагрузка, Н;
 D – диаметр шарика, мм;
 d – диаметр отпечатка, мм.

По методу невосстановленного отпечатка твёрдость определяется как отношение приложенной нагрузки к площади внедрённой в материал части индентора:

$$HBW = \frac{0,102F}{\pi Dh},$$

где h – глубина внедрения индентора, мм.

В нормативных документах (ГОСТ 9012-59) определены:

- диаметры индентора;
- время вдавливания;
- время выдержки под максимальной нагрузкой;
- минимальная толщина образца;
- минимальная и максимальная величины диагоналей отпечатка;
- максимальные нагрузки;

По ISO 6506-1:2005 (ГОСТ 9012-59) регламентированы следующие основные нагрузки: 9,807; 24,52; 49,03; 61,29; 98,07; 153,2; 245,2; 294,2; 306,5; 612,9; 980,7; 1226; 2452; 4903; 7355; 9807; 14 710; и 29 420 Н.

Пример обозначения твёрдости по Бринеллю:

437 HBW 10/3000/10,

где 437 – значение твёрдости по Бринеллю;

HBW – символьное обозначение твёрдости по Бринеллю;

10 – диаметр шарика в мм;

3000 – приблизительное значение эквивалентной нагрузки в кгс (3000кгс=29 420Н);

10 – время выдержки под нагрузкой, с.

Для определения твёрдости по методу Бринелля используют твердомеры, как стационарные, так и переносные.

3.2.2 Метод Виккерса

Твёрдость по Виккерсу определяют по измерению двух взаимноперпендикулярных диагоналей отпечатка, оставленного на поверхности испытуемого материала правильной четырехгранной алмазной пирамиды (индентором) с углом между противоположными гранями 136° при вдавливании его в материал нормированной силой. После снятия усилия по формулам или таблицам находят число (значение) твёрдости.

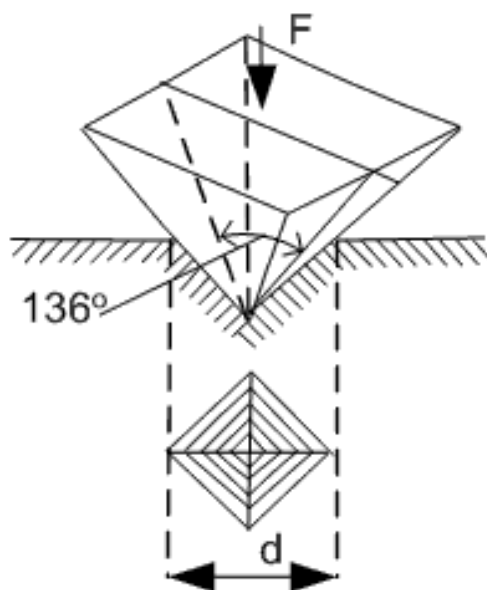


Рисунок 7. Схема измерения твёрдости по Виккерсу.

Метод Виккерса относится к методам вдавливания и регламентируется ГОСТ 2999-76 и ISO 6507.

Твёрдость по Виккерсу вычисляется путём деления нагрузки P на площадь поверхности полученного пирамидального отпечатка. Метод Виккерса позволяет определять твёрдость тонких листовых материалов, сварных швов, а также азотированных и цементированных поверхностей, твёрдость спеченных сплавов.

Угол при вершине в 136° был рассчитан из условий оптимального размера отпечатка по методу Бринелля, поэтому наблюдается хорошее совпадение значений твёрдости по Виккерсу и Бринеллю в пределах от 100 до 450 HV. Твёрдость по Виккерсу во всех случаях обозначается буквами HV без указания размерности.

Основными параметрами при измерении твёрдости по Виккерсу являются нагрузка P от 49, 035 до 980,7 Н (5 – 100 кгс) и время выдержки 10 – 15 с для черных и 30 с для цветных металлов.

Число твердости определяют по формуле

$$HV = \frac{2P \cdot \sin^{\alpha/2}}{d^2},$$

где P – приложенная нагрузка, кгс,

d – среднее значение измеренных диагоналей отпечатка, мм.

Пример обозначения твёрдости по Виккерсу:

744 HV 10,

где 744 – твёрдость по Виккерсу;

HV – обозначение шкалы;

10 – нагрузка в кгс.

Для определения твёрдости по методу Виккерса используют твердомеры, как стационарные, так и переносные.

В развитие метода Виккерса был разработан метод определения микротвёрдости, который, по сути, является методом Виккерса, но при нагрузках от 0,5 до 200 гс. Поскольку при таких нагрузках размеры отпечатков составляют доли микрометра, приборы микротвёрдости снабжены оптикой с увеличением в 487^{\times} . Уникальность микротвердомеров еще и в том, что с их помощью можно определять твердость отдельных структурных составляющих металлов и сплавов.

3.2.3 Метод Роквелла

По методу Роквелла фиксируется глубина погружения индентора в материал под воздействием двух последовательно прикладываемых нагрузок – предварительной и основной. Измерение глубины фиксируется индикатором после снятия основной нагрузки при оставшемся действии предварительной. В качестве индентора используется закаленный шарик либо алмазный конус. Несколько позднее появились приборы, воспроизводящие шкалы Супер-Роквелла. Они применяются для определения твердости образцов малой толщины и тонких поверхностных слоев.

Измерение твёрдости по относительной глубине проникновения индентора было предложено в 1908 году венским профессором Людвигом. Метод определения относительной глубины исключал ошибки, связанные с механическими несовершенствами системы, такими, как люфты и поверхностные дефекты.

Твердомер Роквелла, машина для определения относительной глубины внедрения, был изобретён Хью М. Роквеллом и Стэнли П. Роквеллом (не пря-

мые родственники). Потребность в этой машине была вызвана необходимостью быстрого определения результатов термообработки на обоймах стальных подшипников.

Существует 11 шкал определения твердости по методу Роквелла (А; В; С; D; E; F; G; H; K; N; T), основанных на комбинации «индентор – нагрузка». Наиболее широко используются два типа инденторов: шарик из карбида вольфрама диаметром 1/16 дюйма (1,5875 мм) или такой же шарик из закалённой стали и конический алмазный наконечник с углом при вершине 120° и радиусом закругления вершины 0,2 мм. Основные общие нагрузки при проведении испытаний – 60, 100 и 150 кгс. Величина твёрдости определяется как относительная разница в глубине внедрения индентора при приложении основной и предварительной (10 кгс) нагрузки.

Для обозначения твёрдости, определённой по методу Роквелла, используется символ HR, к которому добавляется буква, указывающая на шкалу, по которой проводились испытания (HRA, HRB, HRC).

Таблица 4 - Наиболее широко используемые шкалы твёрдости по Роквеллу

| Шкала | Индентор | Общая нагрузка, кгс |
|-------|--|---------------------|
| A | Алмазный конус с углом 120° при вершине | 60 |
| B | Шарик диаметром 1/16 дюйма из карбида вольфрама (или закалённой стали) | 100 |
| C | Алмазный конус с углом 120° при вершине | 150 |

Чем твёрже материал, тем меньше будет глубина проникновения наконечника в него. Чтобы при большей твёрдости материала не получалось меньшее число твёрдости по Роквеллу, вводят условную шкалу глубин, принимая за одно её деление глубину, равную 0,002 мм. При испытании алмазным конусом предельная глубина внедрения составляет 0,2 мм, или $0,2/0,002 = 100$ делений, при испытании шариком – 0,26 мм, или $0,26/0,002 = 130$ делений.

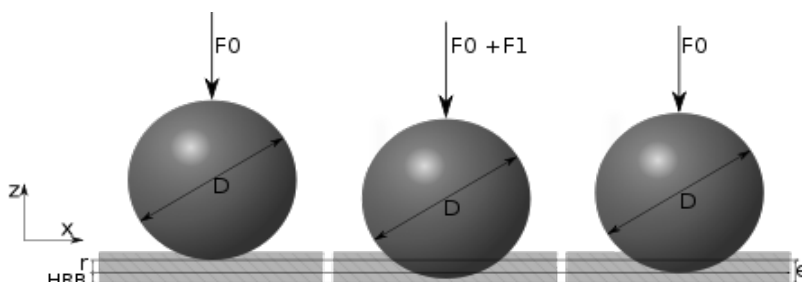


Рисунок 8 Схема проведения испытания по Роквеллу

Таким образом, формулы для вычисления значения твёрдости будут выглядеть следующим образом:

При измерении по шкале А (HRA) и С (HRC):

$$HR = 100 - \frac{H - h}{0,002}$$

Разность $H - h$ представляет разность глубин погружения индентора (в миллиметрах) после снятия основной нагрузки и до её приложения (при предварительном нагружении).

При измерении по шкале В (HRB):

$$HB = 130 - \frac{H - h}{0,002}$$

Ход выполнения проверки твердости следующий:

- Выбрать подходящую для проверяемого материала шкалу (А, В или С).
- Установить соответствующий индентор и нагрузку.
- Установить на столик прибора образец для испытания.
- Перед началом измерений необходимо сделать 1 – 2 отпечатка для того, чтобы «обжать» наконечник и стол.
- Приложить предварительную нагрузку в 10 кгс, совместив маленькую стрелку шкалы с точкой на шкале, а большую установив вертикально (± 5 делений).
- Совместить ноль шкалы со стрелкой, вращая рифленый сектор.
- Приложить основную нагрузку и дождаться приложения максимального усилия.
- Снять основную нагрузку.
- Прочсть на циферблате по соответствующей шкале значение твердости (цифровой прибор показывает значение твердости на экране).

Порядок действий при проверке твердости испытуемого образца такой же, как и на эталонном блоке.

Важным фактором является толщина образца. Не допускается проверка образцов с толщиной менее десятикратной глубины проникновения индентора.

Минимальное расстояние между отпечатками должно быть не менее 1 мм.

3.3. Поверочные схемы для средств измерения твердости

Для обеспечения правильной передачи размера единиц физических величин во всех звеньях метрологической цепи устанавливается определенный порядок. Этот порядок обуславливается поверочными схемами.

Поверочная схема представляет собой исходный документ, устанавливающий метрологическое соподчинение эталонов, эталонных средств измерений и порядок передачи размера единицы эталонным и рабочим средствам измерений.

Для обеспечения единства и достоверности измерений при определении твердости разработаны три государственные поверочные схемы для средств измерений твердости.

Государственный специальный эталон для воспроизведения и хранения единиц твердости по шкалам Бринелля (ГОСТ 8.062-79) состоит из следующих средств измерений:

- стационарного прибора непосредственного нагружения с набором специальных гирь, создающих нагрузки 15,6; 62,5; 187,5 кгс и микроскопом с номинальной ценой деления 0,3 и 1,0 мкм для измерения отпечатков;

- стационарного прибора непосредственного нагружения с набором специальных гирь, создающих нагрузки 187,5; 250; 750; 1000 и 3000 кгс, и микроскопом с наименьшей ценой деления 5 и 10 мкм для измерения диаметров отпечатков.

В качестве наконечников используют стальные закаленные шарики с диаметрами 2,5; 5; 10 мм. Диапазон значений твердости по шкалам Бринелля, воспроизводимых эталоном, от 8 до 450 единиц твердости НВ. Государственная поверочная схема устанавливает два разряда эталонных мер твердости.

Каждая мера имеет одно постоянное значение твердости для заданной степени нагружения. Эталонные меры твердости 1-го разряда градуируются с помощью стационарных приборов, входящих в состав эталона. Для этого на каждой мере наносятся пять отпечатков для заданной степени нагружения. Затем измеряются диаметры отпечатков и по таблицам определяются значения твердости.

Эталонные меры твердости 1-го разряда служат для передачи единиц твердости по шкалам Бринелля эталонным мерам твердости 2-го разряда при помощи компаратора (прибора, настроенного по эталонным мерам 1-го разряда). Соотношение погрешностей образцовых мер 1 и 2-го разрядов 1:2. Приборы-компараторы для поверки образцовых мер твердости 2-го разряда конструктивно не отличаются от серийно выпускаемых. За счет более точного изготовления деталей и узлов они имеют более высокие технические и метрологические характеристики.

Эталонные меры 2-го разряда используют для поверки рабочих средств измерений. Соотношение погрешностей эталонных мер твердости 2-го разряда и рабочих средств измерений примерно **1:5**.

Эталонные меры твердости изготавливают в виде плиток прямоугольной или круглой формы. Они имеют две плоскопараллельные поверхности, одна из которых является рабочей (на ней ставится клеймо), другая поверхность - опорная.

Меры твердости изготавливают из инструментальной стали с повышенными требованиями к однородности структуры, без остаточной намагниченности и устойчивой против старения.

Государственный специальный эталон для воспроизведения и хранения единиц твердости по шкалам Виккерса (ГОСТ 8.063-79) состоит из следующих средств измерений:

- стационарного прибора непосредственного нагружения с набором специальных гирь, создающих нагрузки **1; 2; 5; 10** кгс и микроскопом с номинальной ценой деления **0,2; 0,3 и 1,2** мкм.

- стационарного прибора непосредственного нагружения с набором специальных гирь, создающих нагрузки, **5; 10; 20; 30; 50; 100** кгс, и микроскопом с номинальной ценой деления **0,3 и 1,2** мкм.

В качестве наконечника используется правильная четырехгранная алмазная пирамида с углом при вершине между противоположными гранями 136° .

Диапазон значений единиц твердости по шкале Виккерса, воспроизводимой эталоном, составляет от 8 до 2000 единиц твердости HV. Государственная поверочная схема для средств измерений твердости по шкалам Виккерса устанавливает два разряда образцовых мер твердости.

Эталонные меры 1-го разряда градуируют на эталонном приборе путем нанесения на рабочую поверхность меры отпечатков и измерением их диагоналей. Числа твердости определяются по специальным таблицам. Эталонные меры 1-го разряда служат для передачи единиц твердости по шкалам Виккерса эталонным мерам твердости 2-го разряда при помощи компаратора. Соотношение погрешностей средств измерений 1 и 2-го разряда 1:2.

Эталонные меры твердости 2-го разряда служат для поверки рабочих средств измерений. Соотношение погрешностей эталонных мер 2-го разряда и рабочих средств измерений 1:6.

Государственный специальный эталон для воспроизведения и хранения единиц твердости по шкалам Роквелла (ГОСТ 8.064-79) состоит из следующих средств измерений:

- специального стационарного прибора непосредственного нагружения с набором специальных гирь, создающих нагрузки 3; 10; 15; 30; 45; 60; 100; 150 кгс;
- специального микроскопа с ценой деления 0,28 мкм для измерений глубины внедрения наконечника. Наконечник - алмазный конус с углом при вершине 120° и радиусом закругления 0,2 мм или стальной закаленный шарик диаметром 1,5875 мм.

Государственный специальный эталон обеспечивает воспроизведение единиц твердости по шкалам Роквелла со средним квадратическим отклонением результата измерений, не превышающим 0,1 единиц твердости при неисключенной систематической погрешности, не превышающей 0,3 единицы твердости.

Государственная поверочная схема устанавливает два разряда образцовых мер твердости. Эталонные меры твердости 1-го разряда поверяются методом косвенных измерений на эталонном приборе путем нанесения восьми отпечатков с последующим измерением глубины внедрения наконечника и определением числа твердости. Эталонные меры 1-го разряда служат для передачи единиц твердости по шкалам Роквелла эталонным мерам твердости 2-го разряда сличением при помощи компаратора.

В качестве эталонных мер 2-го разряда типа МТР и МТСР используют наборы эталонных мер. Каждая мера имеет одно постоянное значение. Соотношение погрешностей образцовых мер твердости 1 и 2-го разряда не более 1:2. Эталонные меры твердости 2-го разряда служат для поверки рабочих средств измерений. Соотношение погрешностей эталонных мер 2-го разряда и рабочих средств измерений не более 1:2.

Допускаемые погрешности мер и приборов указаны в поверочной схеме.

Поверочные схемы передачи всех шкал твердости идентичны. В качестве примера рассмотрим одну из поверочных схем, а именно поверочную схему передачи единицы твердости шкал Бринелля от эталона рабочим средствам измерений.

**Государственная поверочная схема для средств измерений
твердости по шкалам Бринелля**

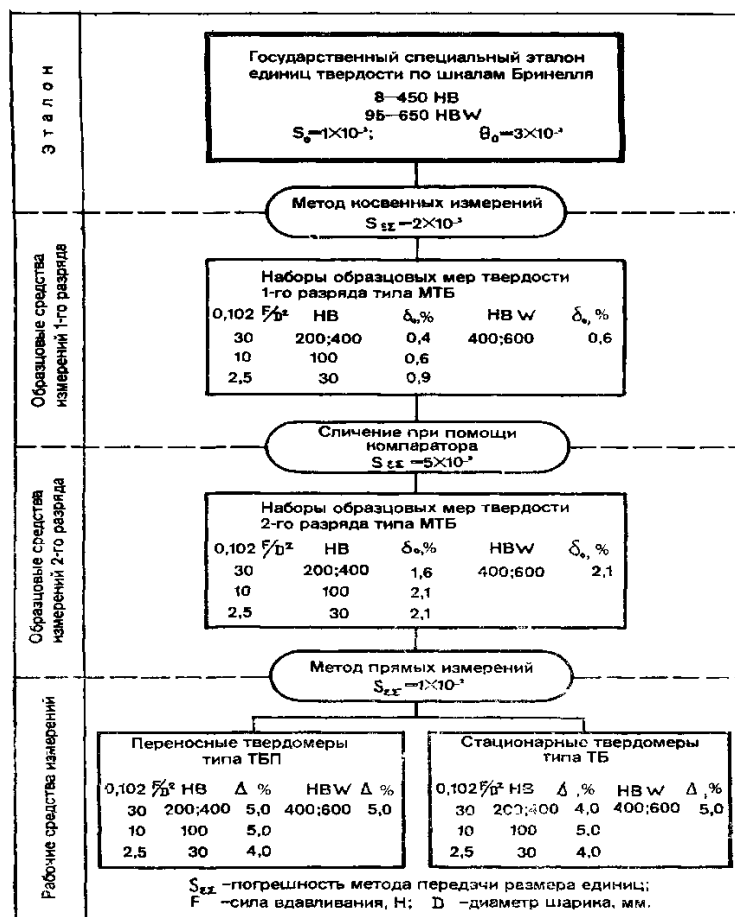


Рисунок 9. Поверочная схема передачи единицы твердости по шкалам Бринелля

Во главе поверочной схемы находится установка прямого нагружения, на которой методом косвенных измерений осуществляется градуировка эталонных мер твердости 1-го разряда. В результате градуировки эталонным мерам присваивается однозначное значение твердости. Эти меры передаются поверочным и калибровочным лабораториям, осуществляющим поверку и калибровку эталонных мер твердости 2 разряда. Единица твердости шкалы, хранимая мерой, передается компаратору, на котором проводится сличение эталонных мер твердости 2-го разряда. Этим мерам также присваивается однозначное значение твердости. Эталонные меры твердости 2-го разряда используют для поверки рабочих средств измерения твердости на предприятиях различных отраслей.

3.4. Методы поверки твердомеров

3.4.1 Поверка твердомеров Бринелля

При проведении внешнего осмотра в первую очередь следует убедиться, что прибор заземлен.

Далее следует убедиться в том, что прибор расположен на прочном и жестком основании, исключающем передачу вибрации и ударов, влияющих на процесс измерения.

Относительную погрешность прибора по нагрузке определяют с помощью эталонного динамометра 3-го разряда при нагрузках 187,5; 250; 500; 750; 1000 и 3000 кгс. Для этого снимают наконечник прибора, устанавливают динамометр на его рабочий стол, приводят отсчетное устройство динамометра к принятой за нуль отметке и осуществляют обжатие его предельным усилием три раза. После разгрузки динамометра его отсчетное устройство устанавливают на нуль. В процессе поверки допускается невозвращение стрелки на нуль, составляющее не более 0,5 наименьшего деления шкалы. Дальнейшее нагружение осуществляют ступенями. Каждую из нагрузок проверяют три раза. Показания отсчитывают по шкале индикатора и заносят в протокол поверки. Затем для каждой ступени нагружения рассчитывают относительную погрешность прибора. Допускаемая относительная погрешность по нагрузке не должна превышать $\pm 1\%$ действительного значения измеряемой величины.

Относительную погрешность прибора по твердости определяют с помощью трех эталонных мер твердости 2-го разряда типа МТБ, градуированных при нагрузках 1000 и 3000 кгс. На поверхности эталонной меры наносят не менее трех отпечатков. Затем меру снимают с прибора и измеряют каждый отпечаток в двух взаимно перпендикулярных направлениях с помощью микроскопа (МПБ-2 или аналогичный). Если разность диаметров отпечатков не превышает 2% наименьшего диаметра, определяют среднее значение диаметра отпечатка, по которому из таблиц ГОСТ 9012 определяют число твердости НВ. Из найденных значений чисел твердости определяют среднее и сравнивают его с твердостью эталонной меры. Пределы допускаемой погрешности не должны превышать $\pm 3\%$.

Если прибор соответствует требованиям ГОСТ 8.398-80 на него выдается документ о поверке, если не соответствует – заключение о непригодности с указанием всех несоответствий.

3.4.2 Поверка твердомеров Роквелла

Поверку следует проводить в помещении с температурой не ниже 15°C и не выше 28°C .

Поверка начинается с осмотра внешнего вида прибора. Взаимодействие отдельных узлов и механизмов проверяют при нанесении отпечатков на образцах.

Погрешность измерения прибора по твердости определяют с помощью комплекта эталонных мер твердости 2-го разряда типа МТР. Эталонные меры 2-го разряда образуют наборы, в которых каждая мера имеет одно постоянное значение твердости.

Перед поверкой прибора на эталонной мере наносят один – два отпечатка для обеспечения плотного прилегания меры к рабочему столу и обжатия наконечника. После нанесения каждого отпечатка меру передвигают, не отрывая ее от столика. Затем на каждой эталонной мере наносят пять отпечатков – четыре по углам меры и один – в центре. Из полученных пяти измерений определяют среднее значение и сравнивают его с твердостью, маркированной на боковой

поверхности меры. Разность между полученным средним значением и твердостью эталонной меры является погрешностью прибора.

Погрешность прибора не должна превышать:

$\pm 1,0$ HRC в диапазоне (65 ± 5) HRC

$\pm 1,5$ HRC в диапазоне (45 ± 5) HRC

$\pm 2,0$ HRC в диапазоне (25 ± 5) HRC

$\pm 1,2$ HRA в диапазоне (83 ± 3) HRA

$\pm 2,0$ HRB в диапазоне (90 ± 10) HRB

Относительную погрешность прибора по нагрузкам определяют при помощи эталонного динамометра. Динамометр размещают на рабочем столике и поджимают к шпинделю, из которого предварительно вынут наконечник. Отсчетное устройство динамометра устанавливают на нуль. Далее эталонный динамометр троекратно обжимают максимальной нагрузкой 150 кгс. Затем динамометр разгружают и устанавливают его отсчетное устройство на нуль. В процессе поверки допускается невозвращение стрелки отсчетного устройства к нулевой отметке не более чем на 0,5 наименьшего деления шкалы.

Динамометр нагружают нагрузками три раза, и показания индикатора после каждой ступени нагружения записывают в протокол. Из трех отсчетов определяют среднее. Относительную погрешность (δ , %) по нагрузкам определяют по формуле

$$\delta = \frac{l - L}{L - L_0} \cdot 100$$

где l – среднее из трех показаний динамометра,

L – показание индикатора эталонного динамометра для поверяемой нагрузки, взятое из его свидетельства,

L_0 – принятое за нуль показание индикатора эталонного динамометра.

Пределы допускаемой погрешности нагрузок твердомеров Роквелла $\pm 0,5$ %.

3.4.3 Поверка твердомеров Виккерса

Температура помещения, в котором поверяют твердомеры, должна быть не ниже 15°C и не выше 28°C .

Поверку твердомеров начинают с их внешнего осмотра. Взаимодействие отдельных узлов и механизмов приборов проверяют путем нанесения отпечатков на образцах.

Погрешность измерения прибора по твердости определяют с помощью комплектов эталонных мер твердости 2-го разряда типа МТВ. Каждая эталонная мера, входящая в комплект, имеет одно постоянное значение твердости. При определении относительной погрешности эталонные меры твердости выбирают в зависимости от развиваемых прибором нагрузок. При поверке на каждой мере наносят пять отпечатков, которые располагают по всей рабочей поверхности. У каждого отпечатка с помощью измерительного устройства поверяемого прибора измеряют две диагонали. Разность длин диагоналей одного

отпечатка не должна превышать 2 % меньшей из них. Затем вычисляют среднее значение диагоналей. По таблицам либо по формулам определяют число твердости HV. Для каждой меры, на которой нанесены пять отпечатков, определяют пять чисел твердости, находят их среднее значение и сравнивают с твердостью меры. Разность между средним арифметическим пяти измерений и твердостью меры является абсолютной погрешностью поверяемого прибора. Затем определяют относительную погрешность поверяемого прибора как отношение абсолютной погрешности к значению твердости эталонной меры в процентах.

Таблица 5 - Допускаемые относительные погрешности приведены.

| Нагрузка, кгс | Значения твердости меры | Допускаемая относительная погрешность, % |
|---------------|-------------------------|--|
| 1 | (450 ± 75) | ± 5 |
| 2 | (800 ± 50) | ± 4 |
| 5 | (450 ± 75) | ± 3 |
| 10 | (800 ± 50) | |
| 30 | (450 ± 75) | |
| 100 | (450 ± 75) | |

Погрешность измерительного устройства определяют с помощью эталонной стеклянной шкалы 2-го разряда. Пределы допускаемой погрешности для твердомеров типов ТВ не должны превышать:

- 0,001 мм при измерении диагонали до 0,2 мм включительно,
- 0,5 % при измерении диагоналей свыше 0,2 мм.

На рабочий стол прибора устанавливают образцовую шкалу 2-го разряда так, чтобы изображение начального штриха совпадало с начальным штрихом экрана, соответствующим поверяемому миллиметровому делению. Несовпадение между поперечным штрихом поверяемого деления шкалы экрана и изображением поперечного штриха соответствующего деления эталонной шкалы определяют измерительной микрометрической головкой прибора. Длину делений шкалы экрана определяют в диапазонах 0-1, 1-2, 2-3, 3-4 и 4-5.

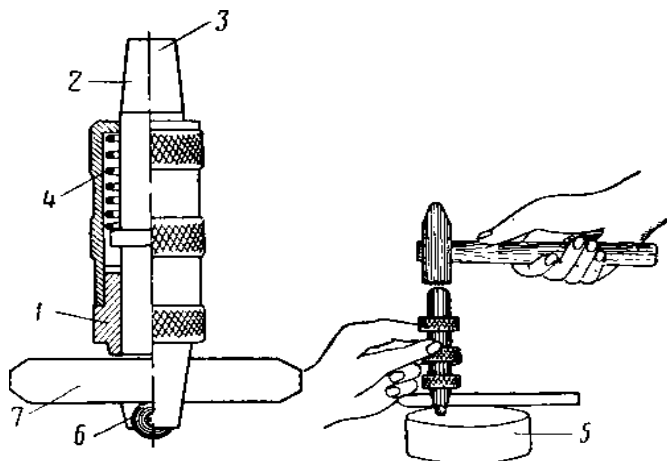
Цену деления измерительного микроскопа с окулярным винтовым микрометром определяют объект-микрометром. Его устанавливают на рабочий стол прибора так, чтобы в поле зрения микроскопа попало наибольшее число делений. Измеряют три интервала объект-микрометра пять раз. Каждое измерение включает шесть совмещений штриха окуляра с первым штрихом и шесть совмещений с последующим штрихом измеряемого интервала. По разности отсчетов устанавливают число делений на шкале измерительного устройства, заключенных между первым и последним штрихами измеряемого интервала объект-микрометра и рассчитывают цену деления измерительного устройства. Среднее арифметическое трех значений, полученных при проверке трех интервалов объект-микрометра, является ценой деления шкалы измерительного устройства.

3.5. Динамические методы измерения твердости

Наряду со статическими методами определения твердости металлов, которые предусматривают плавное и постепенное вдавливание наконечника в испытываемую поверхность, применяются также и динамические методы, когда индентор внедряется в испытываемую поверхность под воздействием ударной нагрузки или при падении с определенной высоты на испытываемую поверхность.

Хотя динамические методы не позволяют с высокой точностью измерять твердость и дают относительно большое расхождение значений твердости по сравнению со статическими методами, они имеют и некоторые преимущества перед ними - это простота и быстрота испытаний.

Принцип действия *прибора ударного действия Польди-Хютте* (рисунок 10) заключается в одновременном нанесении удара по «эталоноу» и образцу, между которыми находится закаленный шарик определенного диаметра. В результате на обеих поверхностях получают сферические отпечатки, по соотношению которых, зная твердость «эталоноу», определяют твердость образца. Погрешность такого способа определения твердости от 7 до 50 %. Наилучшие результаты получают в случае, когда твердость «эталоноу» и образца максимально близки по значению.



1 – корпус, 2 – хвостовик, 3 – боек, 4 – пружина, 5 – испытываемый образец, 6 – шарик, 7 – «эталоноу»

Рисунок 10. Прибор ударного действия Польди-Хютте.

Сущность динамического метода *измерения твердости методом упругого отскока бойка по Шору* (ГОСТ 23273-78), состоит в том, что цилиндрический боек определенной массы, оканчивающийся алмазным наконечником в форме полусферы, свободно падает с определенной высоты на испытываемую поверхность. Высоту отскока бойка от испытываемой поверхности принимают за характеристику твердости и измеряют в условных единицах. Для металлов, стекла, резины и т. д. применяются разные варианты шкал Шора.

Если испытываемая поверхность имеет большую твердость и упругость, при ударе бойка затрачивается небольшая часть энергии на деформацию металла,

остальная часть энергии возвращается бойку и подбрасывает его на определенную высоту, которая автоматически фиксируется на индикаторе прибора. Если же испытываемая поверхность мягкая, малоупругая, то большая часть энергии затрачивается на пластическую деформацию металла (вдавливание наконечника) и лишь незначительная часть возвращается бойку, поднимая его на меньшую высоту. При испытании различных материалов боек, падая с одной и той же высоты, обладает одним и тем же запасом энергии. Но так как твердость разных материалов различна, он затрачивает разное количество энергии на упругую деформацию металла и отскакивает на различную высоту, которая и принимается за показатель твердости.

По шкале Шора за 100 единиц принята максимальная твердость стабилизированного после закалки на мартенсит образца из углеродистой эвтектоидной инструментальной стали.

Значение твердости по Шору не переводится в значения твердости других шкал или прочности при растяжении. Твердость по Шору обозначается индексом HSD, например, 78 HSD. Ее указывают с округлением до целой единицы шкалы.

С приходом эры электроники появился целый ряд портативных динамических твердомеров, устанавливающих корреляцию между твердостью образца и скоростью отскока индентора или временем между двумя последовательными соударениями индентора с поверхностью образца.

Одним из первых появился *метод Лейба*, в котором твердость материала напрямую связана с изменением скорости отскока бойка от поверхности объекта. По отношению этих скоростей судят о значении твердости. Первые приборы, работающие по этому принципу, имели условную шкалу и переводные таблицы для перевода в стандартные шкалы твердости. В дальнейшем приборы стали оснащаться встроенными микроЭВМ, что позволило работать с именованными шкалами твердости.

Электромагнитный метод измерения твердости стали основан на зависимости магнитных характеристик стали от ее структуры. Так как каждой структуре стали соответствует определенная твердость, то между магнитными характеристиками и твердостью можно установить некоторую зависимость. Эти методы измерения менее точны, чем механические методы и требуют большого опыта для применения. Их применяют при массовом контроле твердости однотипных деталей.

Ультразвуковой метод измерения твердости стали называют методом ультразвукового контактного импеданса колебательной системы преобразователя в зависимости от механических свойств поверхности образца. Акустический преобразователь представляет собой стержень из магнитострикционного материала (например, никеля), на конце которого укреплен индентор в виде алмазной пирамиды. К стержню прикреплен пьезоэлемент, возбуждающий в преобразователе продольные упругие колебания частотой 30-40 кГц. Стержень с индентором прижимают к контролируемому объекту с постоянной силой. При этом индентор внедряется в поверхность изделия тем глубже, чем меньше твёр-

дость его материала. Площадь зоны соприкосновения индентора с изделием с уменьшением твёрдости растёт, а модуль упругого сопротивления увеличивается.

Изменение импеданса определяют по изменению собственной частоты нагруженного преобразователя, которую измеряют частотомером. Шкалу индикатора градуируют в единицах твёрдости по Бринеллю, Роквеллу и Виккерсу.

3.6. Поверка динамических твердомеров

Стандартизированной методики поверки динамических твердомеров не существует. Каждый изготовитель излагает методику поверки в паспорте прибора.

Тем не менее, алгоритм поверки у всех одинаков. В первую очередь должно быть организовано рабочее место поверки. Поскольку все динамические твердомеры работают с образцами массой от 5 кг, то для рабочего места необходима массивная металлическая плита (как правило, это поверочная плита размером не менее 250 × 250 мм), на которую при помощи тонкого слоя консистентной смазки (типа «Консталин УТ» или «Циатим») «прикрепляются» эталонные меры твердости 2-го разряда.

После внешнего осмотра и опробования, которые должны показать соответствие прибора требованиям паспорта, переходят к определению абсолютной погрешности. Для этого проводят не менее 5 измерений твердости каждой эталонной меры и определяют среднее.

Абсолютная погрешность определяется по формуле

$$\Delta = \bar{H} - H_m,$$

где \bar{H} - среднее значение твердости эталонной меры, определенное прибором, H_m - значение твердости эталонной меры.

Абсолютная погрешность у большинства приборов не должна превышать следующих значений:

| Шкала | Абсолютная допустимая погрешность |
|----------------|-----------------------------------|
| HRC | ± 2,0 |
| HB (90 – 150) | ± 10 |
| (150 – 300) | ± 15 |
| (300 – 450) | ± 20 |
| HV (240 – 500) | ± 15 |
| (500 – 800) | ± 20 |

На приборы, прошедшие поверку с положительным результатом, наносят знак поверки и выдают свидетельство о поверке сроком на 12 месяцев.

Список рекомендуемой литературы:

1. Кирнос В.И., Измерение механических характеристик материалов / В.И. Кирнос, Учеб. пособие -М.: Изд-во стандартов, 1976.
2. ГОСТ 8.062-79. ГСИ. Государственный специальный эталон и государственная поверочная схема для средств измерений твердости по шкалам Бринелля.
3. ГОСТ 8.063-79. ГСИ. Государственный специальный эталон и общесоюзная поверочная схема для средств измерений твердости по шкалам Виккерса.
4. ГОСТ 8.064-79. ГСИ. Государственный специальный эталон и государственная поверочная схема для средств измерений твердости по шкалам Роквелла и Супер-Роквелла.
5. ГОСТ 8.398-80. ГСИ. Приборы для измерения твердости металлов и сплавов. Методы и средства поверки.
6. ГОСТ 2999-75. Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Виккерсу.
7. ГОСТ 22975-78 Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Супер-Роквеллу.
8. ГОСТ 01 ML R 76-1-2011. Весы неавтоматического действия. Часть 1. Метрологические и технические требования. Испытания.
9. ГОСТ 01 ML R 111-1-2003. Гири классов E_1 , E_2 , F_1 , F_2 . M_1 , M_{1-2} , M_2 , M_{2-3} , M_3 . Часть 1. Метрологические и технические требования.
10. МИ 1747-87. ГСИ. Меры массы эталонные и общего назначения.
11. ГОСТ 8.01-2005. ГСИ. Государственная поверочная схема для СИ массы.
12. ГОСТ 8.469-2002. Дозаторы весовые непрерывного действия. Методика поверки.
13. ГОСТ 8.005-2002. Весы конвейерные непрерывного действия. Методика поверки.
14. ГОСТ 8.610-2012. ГСИ. Дозаторы весовые автоматические дискретного действия. Часть 1. Метрологические и технические требования. Методика испытаний.
15. ГОСТ 10223-97. Дозаторы весовые дискретного действия. Общие технические требования.
16. ГОСТ 8.523-2014. ГСИ. Дозаторы весовые дискретного действия. Методика поверки.
17. ГОСТ 33242-2015. Весы автоматические для взвешивания транспортных средств в движении и измерения нагрузки на ось. Метрологические и технические требования. Испытания.
18. ГОСТ 8.646-2015. ГСИ. Весы автоматические для взвешивания транспортных средств в движении и измерения нагрузки на ось. Методика поверки.
19. ГОСТ 30414-96. Весы для взвешивания транспортных средств в движении. Общие технические требования.
20. СТБ ГОСТ 8.598-2005. Весы для взвешивания железнодорожных транспортных средств в движении.
21. ГОСТ 24104-2001. Весы лабораторные. Общие технические требования.
22. ГОСТ 8.520-2005. ГСИ. Весы лабораторные. Методика поверки.
23. ГОСТ 30124-94. Весы и весовые дозаторы непрерывного действия.