ГОСТ Р 8.763-2011 ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений длины в диапазоне от 1х10_(-9) до 50 м и длин волн в диапазоне от 0,2 до 50 мкм

Дата введения 01.01.2013

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. N 184-ФЗ "О техническом регулировании", а правила применения национальных стандартов Российской Федерации - ГОСТ Р 1.0-2004 "Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения"

Сведения о стандарте

1 РАЗРАБОТАН Федеральным государственным унитарным предприятием "Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И.Менделеева" (ФГУП "ВНИИМ им. Д.И.Менделеева") Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

2 ВНЕСЕН Управлением метрологии Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 13 декабря 2011 г. N 1094-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодно издаваемом информационном указателе "Национальные стандарты", а текст изменений и поправок - в ежемесячно издаваемых информационных указателях "Национальные стандарты". В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ежемесячно издаваемом информационном указателе "Национальные стандарты". Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования - на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет

Настоящий стандарт распространяется на государственную поверочную схему для средств измерений длины в диапазоне от $1 \cdot 10^{-9}$ до 50 м и длин волн в диапазоне от 0,2 до 50 мкм (далее - государственная поверочная схема) и устанавливает порядок передачи единицы длины от государственного первичного эталона единицы длины - метра (далее - государственный первичный эталон) рабочим средствам измерений с помощью вторичных и рабочих эталонов с указанием погрешностей и основных методов поверки.

Государственная поверочная схема состоит из четырех частей:

часть 1. Источники излучений и средства измерений длин волн [рисунок А.1 (приложение А)];

часть 2. Меры длины штриховые и измерители перемещений [рисунок Б.1 (приложение Б)];
часть 3. Меры длины концевые плоскопараллельные [рисунок В.1 (приложение В)];
часть 4. Измерители перемещений, меры рельефные и микроскопы в области нанодиапазона [рисунок Г.1 (приложение Г)].

1 Государственный первичный эталон

Государственный первичный эталон представляет собой комплекс, в состав которого входят следующие средства измерений:

- источник эталонного излучения - $He-Ne/I_2$ лазер, стабилизированный по линии насыщенного поглощения в молекулярном йоде - 127;
- установка для измерений разности частот источников лазерного излучения;
- универсальный интерференционный метровый компаратор;
- лазерный интерференционный тридцатиметровый компаратор;
- лазерный интерференционный компаратор для измерений длины в субмикронном и нанодиапазоне;
- гетеродинный интерферометр.

Номинальное значение длины волны, при котором воспроизводится единица, составляет 0,633 мкм.
Государственный первичный эталон обеспечивает воспроизведение единицы со среднеквадратическим отклонением результата измерений S_0, не превышающим $5{,}6 \cdot 10^{-12}$ при 100 независимых измерениях.

Неисключенная систематическая погрешность Θ_0 не превышает $2{,}2 \cdot 10^{-12}$.
Государственный первичный эталон применяют для передачи единицы длины вторичным и рабочим эталонам методом прямых измерений и методом сличения с помощью компаратора и мер сравнения.

2 Вторичные эталоны

2.1 Вторичные эталоны 1-й части

2.1.1 В качестве вторичных эталонов используют частотно-стабилизированные лазеры в диапазоне длин волн от 0,4 до 11 мкм.

2.1.2 Среднеквадратические отклонения суммарной погрешности $S_{\Sigma 0}$ результатов сличений вторичных (рабочих) эталонов с государственным первичным эталоном при 100 независимых измерениях составляют от $1 \cdot 10^{-11}$ до $1 \cdot 10^{-9}$.

2.1.3 Вторичные (рабочие) эталоны применяют для передачи единицы длины рабочим эталонам 1-го и 2-го разрядов методом сличения с помощью компаратора и методом прямых измерений, а также рабочим средствам измерений - частотно-стабилизированным лазерам непрерывного излучения методом сличения с помощью компаратора.

2.2 Вторичные эталоны 2 части

2.2.1 В качестве эталонов-копий используют интерференционные установки для поверки штриховых мер длины в диапазоне от 0,001 до 1000 мм.

2.2.2 Среднеквадратические отклонения суммарной погрешности S_Σ результатов сличений эталонов-копий с государственным первичным эталоном не должны превышать (0,02+0,04L) мкм, где L - длина, м.

2.2.3 Эталоны-копии применяют для поверки рабочих эталонов 1-го разряда - штриховых мер длины, дифракционных голографических мер длины, а также рабочих средств измерений - измерителей линейных перемещений методом прямых измерений.

2.2.4 В качестве вторичных (рабочих) эталонов используют штриховые меры длины и установки для поверки штриховых мер длины в диапазоне от 0,1 до 1000 мм.

2.2.5 Доверительные границы абсолютных погрешностей δ при доверительной вероятности 0,99 составляют от ±(0,03+0,1L) до ±(0,05+0,1L) мкм, гдеL - длина в метрах.

2.2.6 Вторичные эталоны применяют для поверки рабочих эталонов 1-го разряда - штриховых мер длины, дифракционных голографических мер длины методом прямых измерений и методом сличения с помощью компаратора.

2.3 Вторичные эталоны 3-й части

2.3.1 В качестве эталонов-копий используют интерференционные установки для поверки плоскопараллельных концевых мер длины в диапазонах от 0,1 до 100 мм и от 100 до 1000 мм.

2.3.2 Среднеквадратические отклонения суммарной погрешности S_Σ результатов сличений эталонов-копий с государственным первичным эталоном не должны превышать (0,01+0,04L) мкм, гдеL - длина, м.

2.3.3 Эталоны-копии применяют для поверки вторичных эталонов - интерференционных установок для измерений внутренних размеров от 0,5 до 200 мм методом сличения с помощью мер сравнения, рабочих эталонов 1-го разряда - плоскопараллельных концевых мер длины и кварцевых геодезических жезлов методом прямых измерений, а также установок для поверки средств измерений внутренних размеров методом сличения с помощью мер сравнения.

2.3.4 В качестве вторичных эталонов используют интерференционные установки для поверки плоскопараллельных концевых мер длины в диапазонах от 0,1 до 100 мм и от 100 до 1000 мм и интерференционные установки для измерений внутренних размеров от 0,5 до 200 мм.

2.3.5 Доверительные границы абсолютных погрешностей δ при доверительной вероятности 0,99 составляют от ±(0,02+0,1L) мкм до ±(0,05+0,1L) мкм, где L - длина, м.

2.3.6 Вторичные эталоны применяют для поверки рабочих эталонов 1-го

разряда - плоскопараллельных концевых мер длины, мер внутренних диаметров - измерительных колец методом прямых измерений и рабочих средств измерений - плоскопараллельных концевых мер длины методом прямых измерений.

2.4 Вторичные эталоны 4-й части

2.4.1 В качестве вторичных (рабочих) эталонов используют лазерные измерители перемещений в диапазоне от 10^{-9} до 10^{-2} м.

2.4.2 Доверительные границы абсолютных погрешностей δ при доверительной вероятности 0,99 составляют от ±0,5 до ±3,0 нм.

2.4.3 Вторичные эталоны применяют для поверки рабочих эталонов 1-го разряда - микроскопов с лазерным интерферометром и лазерных измерителей перемещений в диапазоне от 10^{-9} до 10^{-2} м методом непосредственного сличения.

3 Рабочие эталоны

3.1 Рабочие эталоны 1-й части

3.1.1 Рабочие эталоны 1-го разряда

3.1.1.1 В качестве рабочих эталонов 1-го разряда используют спектральные лампы в диапазоне от 0,4 до 0,7 мкм, частотно-стабилизированные лазеры и измерители длин волн лазеров в диапазоне от 0,4 до 11 мкм.

3.1.1.2 Доверительные границы относительных погрешностей δ_0 при доверительной вероятности 0,99 рабочих эталонов 1-го разряда составляют от $2 \cdot 10^{-10}$ до $1 \cdot 10^{-8}$.

3.1.1.3 Рабочие эталоны 1-го разряда используют для поверки рабочих эталонов 2-го разряда - спектральных ламп и стандартных образцов спектра поглощения и пропускания, а также источников излучения, входящих в состав измерителей линейных перемещений (часть 2), методом сличения с помощью компаратора, лазерных спектрометров методом непосредственного сличения измерителей длин волн лазеров непрерывного излучения методом прямых измерений и рабочих средств измерений - частотно-стабилизированных лазеров непрерывного излучения методом сличения с помощью компаратора.

3.1.2 Рабочие эталоны 2-го разряда

3.1.2.1 В качестве рабочих эталонов 2-го разряда используют спектральные лампы и стандартные образцы спектра поглощения и пропускания в диапазоне от 0,2 до 50 мкм, частотно-стабилизированные лазеры непрерывного излучения, измерители длин волн лазеров непрерывного излучения и лазерные спектрометры в диапазоне от 0,4 до 11 мкм, измерители длин волн лазеров импульсного излучения в диапазоне от 0,4 до 1,2 мкм.

3.1.2.2 Доверительные границы относительных погрешностей δ_0 при доверительной вероятности 0,99 рабочих эталонов 2-го разряда составляют от

$1 \cdot 10^{-8}$ до $1 \cdot 10^{-3}$.

3.1.2.3 Рабочие эталоны 2-го разряда применяют для поверки рабочих средств измерений методом прямых измерений, методом сличения с помощью компаратора и методом непосредственного сличения.

3.2 Рабочие эталоны 2-й части

3.2.1 Рабочие эталоны 1-го разряда

3.2.1.1 В качестве рабочих эталонов 1-го разряда используют штриховые меры длины, дифракционные голографические меры длины в диапазоне от 0,001 до 1000 мм, установки для поверки измерительных лент в диапазоне от 0,001 до 30 м и кварцевые геодезические жезлы длиной 1000 и 1200 мм.

3.2.1.2 Доверительные границы абсолютных погрешностей δ при доверительной вероятности 0,99 рабочих эталонов 1-го разряда составляют от $\pm(0{,}02+0{,}2L)$ мкм до $\pm(1+1L)$ мкм.

3.2.1.3 Рабочие эталоны 1-го разряда применяют для поверки рабочих эталонов 2-го разряда - штриховых мер длины методом сличения с помощью компаратора, измерительных лент методом прямых измерений и рабочих средств измерений - измерителей линейных перемещений методом прямых измерений и штриховых мер длины методом сличения с помощью компаратора.

3.2.2 Рабочие эталоны 2-го разряда

3.2.2.1 В качестве рабочих эталонов 2-го разряда используют штриховые меры длины, голографические измерительные системы линейных перемещений в диапазоне от 0,001 до 1000 мм и измерительные ленты в диапазоне от 0,001 до 30 м.

3.2.2.2 Доверительные границы абсолютных погрешностей δ при доверительной вероятности 0,99 рабочих эталонов 2-го разряда составляют от $\pm(0{,}2+0{,}5L)$ мкм до $\pm(2+2L)$ мкм.

3.2.2.3 Рабочие эталоны 2-го разряда применяют для поверки рабочих эталонов 3-го разряда - штриховых мер длины методом сличения с помощью компаратора, измерительных лент методом непосредственного сличения, рабочих эталонов 4-го разряда - штриховых мер длины методом сличения с помощью компаратора и рабочих средств измерений - приборов для измерений наружных и внутренних размеров методом прямых измерений, измерительных рулеток методом непосредственного сличения.

3.2.3 Рабочие эталоны 3-го разряда

3.2.3.1 В качестве рабочих эталонов 3-го разряда используют штриховые меры длины, растровые измерительные преобразователи в диапазоне от 0,1 до 1000 мм и измерительные ленты в диапазоне от 0,001 до 50 м.

3.2.3.2 Доверительные границы абсолютных погрешностей δ при

доверительной вероятности 0,99 рабочих эталонов 3-го разряда составляют от $\pm(1+5^{L})$ мкм до $\pm(10+10^{L})$ мкм.

3.2.3.3 Рабочие эталоны 3-го разряда применяют для поверки рабочих эталонов 4-го разряда - штриховых мер длины методом сличения с помощью компаратора и рабочих средств измерений - приборов для измерений наружных и внутренних размеров методом прямых измерений, измерительных рулеток и землемерных лент методом непосредственного сличения, штриховых мер длины методом сличения с помощью компаратора.

3.2.4 Рабочие эталоны 4-го разряда

3.2.4.1 В качестве рабочих эталонов 4-го разряда используют штриховые меры длины в диапазоне от 0,1 до 1000 мм.

3.2.4.2 Доверительные границы абсолютных погрешностей δ при доверительной вероятности 0,99 рабочих эталонов 4-го разряда составляют $\pm(20+30^{L})$ мкм.

3.2.4.3 Рабочие эталоны 4-го разряда применяют для поверки рабочих средств измерений - складных мер, нивелирных реек, измерительных линеек, лесных вилок методом непосредственного сличения.

3.3 Рабочие эталоны 3-й части

3.3.1 Рабочие эталоны 1-го разряда

3.3.1.1 В качестве рабочих эталонов 1-го разряда используют плоскопараллельные концевые меры длины в диапазоне от 0,1 до 1000 мм, приборы для поверки средств измерений внутренних размеров в диапазоне от 0,5 до 500 мм, меры внутренних диаметров - измерительные кольца в диапазоне от 0,5 до 200 мм и кварцевые геодезические жезлы длиной 1000 и 1200 мм.

3.3.1.2 Доверительные границы абсолютных погрешностей δ при доверительной вероятности 0,99 рабочих эталонов 1-го разряда составляют от $\pm(0,02+0,2^{L})$ мкм до $\pm(0,05+0,5^{L})$ мкм.

3.3.1.3 Рабочие эталоны 1-го разряда применяют для поверки рабочих эталонов 2-го разряда - установок для поверки измерительных головок, установок для поверки измерительных преобразователей, приборов для поверки средств измерений внутренних размеров, мер внутренних диаметров - измерительных колец методом прямых измерений, плоскопараллельных концевых мер длины методом сличения с помощью компаратора и рабочих средств измерений - плоскопараллельных концевых мер длины методом сличения с помощью компаратора, приборов для измерений наружных размеров, контактных интерферометров методом прямых измерений.

3.3.2 Рабочие эталоны 2-го разряда

3.3.2.1 В качестве рабочих эталонов 2-го разряда используют установки для поверки измерительных головок в диапазоне от 0,1 до 25 мм, установки для поверки измерительных преобразователей в диапазоне от 0,005 до 0,2 мм,

плоскопараллельные концевые меры длины в диапазоне от 0,1 до 1000 мм, приборы для поверки средств измерений внутренних размеров в диапазоне от 0,5 до 500 мм и меры внутренних диаметров - измерительные кольца в диапазоне от 1 до 500 мм.

3.3.2.2 Доверительные границы абсолютных погрешностей δ при доверительной вероятности 0,99 рабочих эталонов 2-го разряда составляют от ±0,04 до ±2 мкм.

3.3.2.3 Рабочие эталоны 2-го разряда применяют для поверки рабочих эталонов 3-го разряда - плоскопараллельных концевых мер длины, мер внутренних диаметров - измерительных колец сличением при помощи компаратора, приборов для поверки средств измерений внутренних размеров методом прямых измерений и рабочих средств измерений - приборов для измерений наружных размеров, преобразователей и приборов автоматизированного контроля методом прямых измерений.

3.3.3 Рабочие эталоны 3-го разряда

3.3.3.1 В качестве рабочих эталонов 3-го разряда используют плоскопараллельные концевые меры длины в диапазоне от 0,1 до 1000 мм, меры внутренних диаметров - измерительные кольца в диапазоне от 0,5 до 500 мм и приборы для поверки средств измерений внутренних размеров в диапазоне от 0,5 до 500 мм.

3.3.3.2 Доверительные границы абсолютных погрешностей δ при доверительной вероятности 0,99 рабочих эталонов 3-го разряда составляют от $\pm(0{,}1+1\frac{L}{})$ до $\pm(0{,}2+2\frac{L}{})$ мкм.

3.3.3.3 Рабочие эталоны 3-го разряда применяют для поверки рабочих эталонов 4-го разряда - плоскопараллельных концевых мер длины, мер внутренних диаметров - измерительных колец методом сличения с помощью компаратора, приборов для поверки средств измерений внутренних размеров методом прямых измерений и рабочих средств измерений - приборов для измерений наружных размеров, установочных колец методом прямых измерений, плоскопараллельных концевых мер длины методом сличения с помощью компаратора.

3.3.4 Рабочие эталоны 4-го разряда

3.3.4.1 В качестве рабочих эталонов 4-го разряда используют плоскопараллельные концевые меры длины в диапазоне от 0,1 до 1000 мм, приборы для поверки индикаторов и индикаторных нутромеров в диапазоне от 0 до 100 мм, меры внутренних диаметров - измерительные кольца и приборы для поверки средств измерений внутренних размеров в диапазоне от 0,5 до 500 мм.

3.3.4.2 Доверительные границы абсолютных погрешностей δ при доверительной вероятности 0,99 рабочих эталонов 4-го разряда составляют от ±0,2 мкм до $\pm(0{,}5+5\frac{L}{})$ мкм.

3.3.4.3 Рабочие эталоны 4-го разряда применяют для поверки рабочих средств измерений - плоскопараллельных концевых мер длины, установочных

концевых мер, проволочек, роликов, принадлежностей к концевым мерам (боковиков) методом сличения с помощью компаратора, приборов для измерений наружных размеров, штангенинструмента, приборов для измерений наружных и внутренних размеров, нутромеров методом прямых измерений, установочных колец, плоскопараллельных концевых мер длины методом сличения с помощью компаратора.

3.4 Рабочие эталоны 4-й части

3.4.1 Рабочие эталоны 1-го разряда

3.4.1.1 В качестве рабочих эталонов 1-го разряда используют рельефные меры в диапазоне от 10^{-9} до 10^{-2} м, микроскопы с лазерным интерферометром и лазерные измерители перемещений в диапазоне от 10^{-9} до 10^{-2} м.

3.4.1.2 Доверительные границы абсолютных погрешностей δ при доверительной вероятности 0,99 рабочих эталонов 1-го разряда составляют от ±1 до ±10 нм.

3.4.1.3 Рабочие эталоны 1-го разряда применяют для поверки рабочих эталонов 2-го разряда - рельефных мер, электронных растровых измерительных микроскопов и сканирующих зондовых атомно-силовых микроскопов методом прямых измерений.

3.4.2 Рабочие эталоны 2-го разряда

3.4.2.1 В качестве рабочих эталонов 2-го разряда используют рельефные меры, электронные растровые измерительные микроскопы и сканирующие зондовые атомно-силовые микроскопы в диапазоне от 10^{-9} до 10^{-2} м.

3.4.2.2 Доверительные границы абсолютных погрешностей δ при доверительной вероятности 0,99 рабочих эталонов 2-го разряда составляют от ±3 до ±50 нм.

3.4.2.3 Рабочие эталоны 2-го разряда применяют для поверки рабочих средств измерений - рельефных мер, электронных растровых измерительных микроскопов и сканирующих зондовых атомно-силовых микроскопов методом прямых измерений.

4 Рабочие средства измерений

4.1 Рабочие средства измерений 1-й части

4.1.1 В качестве рабочих средств измерений используют спектрометры и спектрофотометры в диапазоне от 0,2 до 50 мкм, частотно-стабилизированные лазеры непрерывного излучения и частотно-стабилизированные и нестабилизированные лазеры непрерывного излучения - меры длин волн в диапазоне от 0,4 до 11 мкм, измерители длин волн лазеров непрерывного излучения и лазерные спектрометры в диапазоне от 0,4 до 11 мкм, измерители длин волн лазеров импульсного излучения и лазеры импульсного излучения в диапазоне от 0,4 до 1,2 мкм.

4.1.2 Доверительные границы относительных погрешностей δ_0 при доверительной вероятности 0,99 частотно-стабилизированных лазеров повышенной точности составляют от 1 ± 10^{-10} до $3 \cdot 10^{-8}$.

4.1.3 Пределы допускаемых относительных погрешностей Δ_0 рабочих средств измерений составляют от $\pm 3 \cdot 10^{-8}$ до $\pm 1 \cdot 10^{-2}$.

4.2 Рабочие средства измерений 2-й части

4.2.1 В качестве рабочих средств измерений используют измерители линейных перемещений в диапазоне от 0,01 до 30000 мм, штриховые меры длины в диапазоне от 0,1 до 2000 мм, измерительные преобразователи линейных перемещений в диапазоне от 0 до 32000 мм, приборы для измерений наружных и внутренних размеров в диапазоне от 0 до 1000 мм, складные меры и измерительные линейки в диапазоне от 0 до 1000 мм, нивелирные рейки в диапазоне от 0 до 4000 мм, лесные вилки в диапазоне от 1 до 750 мм, измерительные рулетки длиной до 100 м, землемерные ленты длиной до 50 м, мерные проволоки длиной до 24 м.

4.2.2 Пределы допускаемых абсолютных погрешностей Δ рабочих средств измерений составляют от ±0,05 мкм до ±14 мм.

4.3 Рабочие средства измерений 3-й части

4.3.1 В качестве рабочих средств измерений используют плоскопараллельные концевые меры длины в диапазоне от 0,1 до 1000 мм, контактные интерферометры с ценой деления от 0,02 до 0,2 мкм, приборы для измерений наружных и внутренних размеров, нутромеры, штангенинструмент в диапазоне от 0 до 2500 мм; установочные кольца в диапазоне от 1 до 500 мм, преобразователи и приборы автоматизированного контроля, установочные концевые меры, проволочки и ролики для измерений среднего диаметра резьбы, принадлежности к концевым мерам длины (боковики).

4.3.2 Пределы допускаемых абсолютных погрешностей Δ рабочих средств измерений составляют от ±0,02 мкм до ±1 мм.

4.4 Рабочие средства измерений 4-й части

4.4.1 В качестве рабочих средств измерений используют рельефные меры в диапазоне от 10^{-9} до 10^{-2} м, электронные растровые измерительные микроскопы в диапазоне от 10^{-9} до 10^{-4} м и сканирующие зондовые атомно-силовые микроскопы в диапазоне от 10^{-9} до 10^{-6} м.

4.4.2 Пределы допускаемых абсолютных погрешностей Δ рабочих средств измерений составляют от ±10 до ±1000 нм.

Приложение А (обязательное). Государственная поверочная схема для средств измерений длины в диапазоне от 1·10_(-9) до 50 м и длин волн в диапазоне от 0,2 до 50 мкм. Часть 1. Источники излучений и средства измерений длин волн

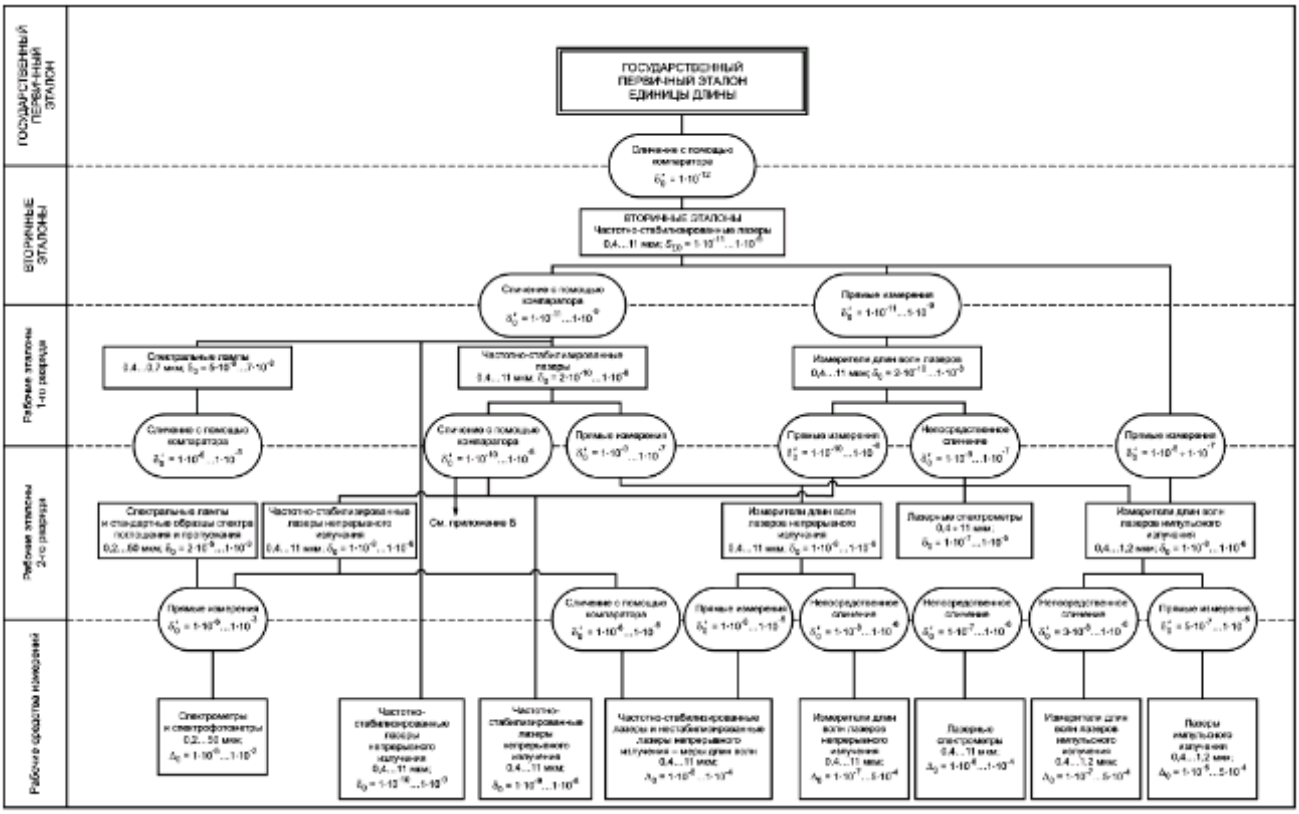


Рисунок А.1

Приложение Б (обязательное). Государственная поверочная схема для средств измерений длины в диапазоне от 1·10_(-9) до 50 м и длин волн в диапазоне от 0,2 до 50 мкм. Часть 2. Меры длины штриховые и измерители перемещений

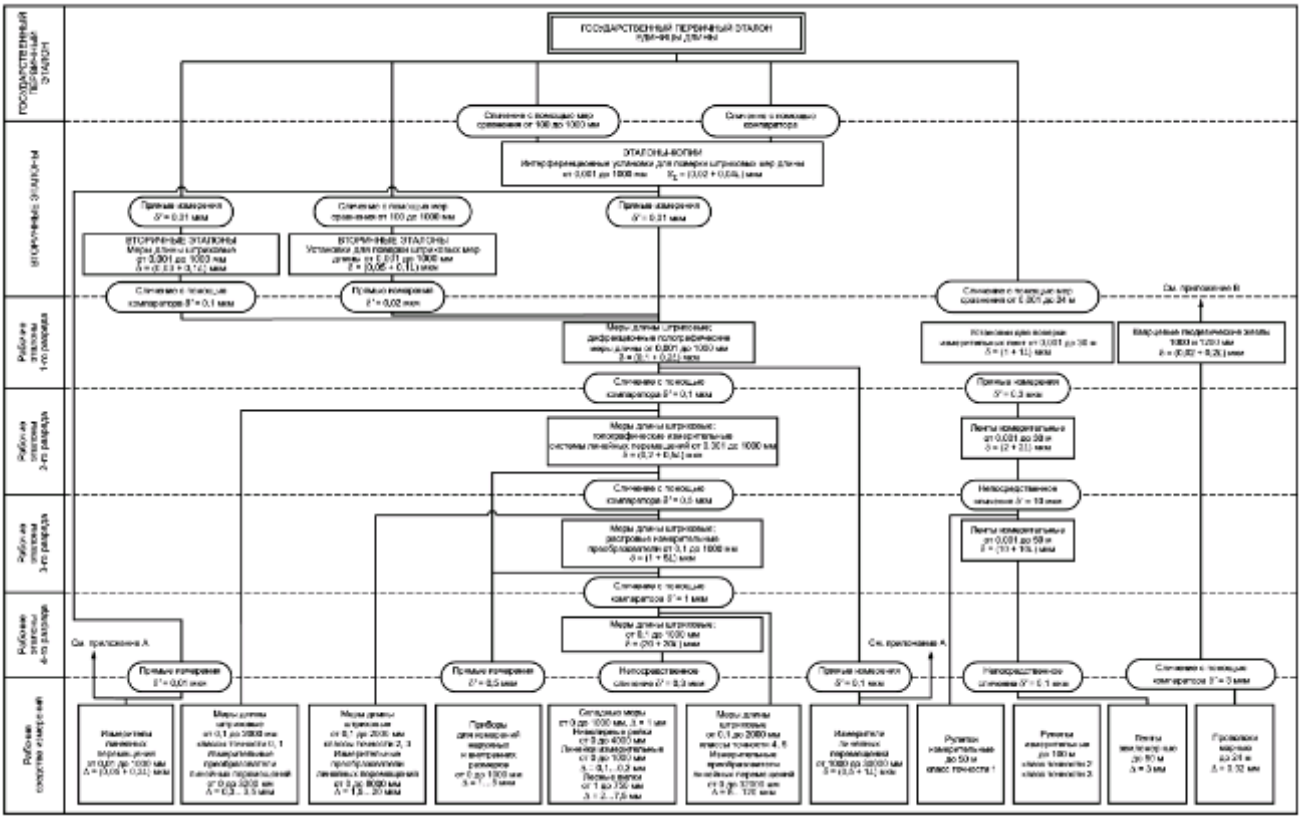


Рисунок Б.1

Приложение В (обязательное). Государственная поверочная схема для средств измерений длины в диапазоне от 1·10_(-9) до 50 м и длин волн в диапазоне от 0,2 до 50 мкм. Часть 3. Меры длины концевые плоскопараллельные

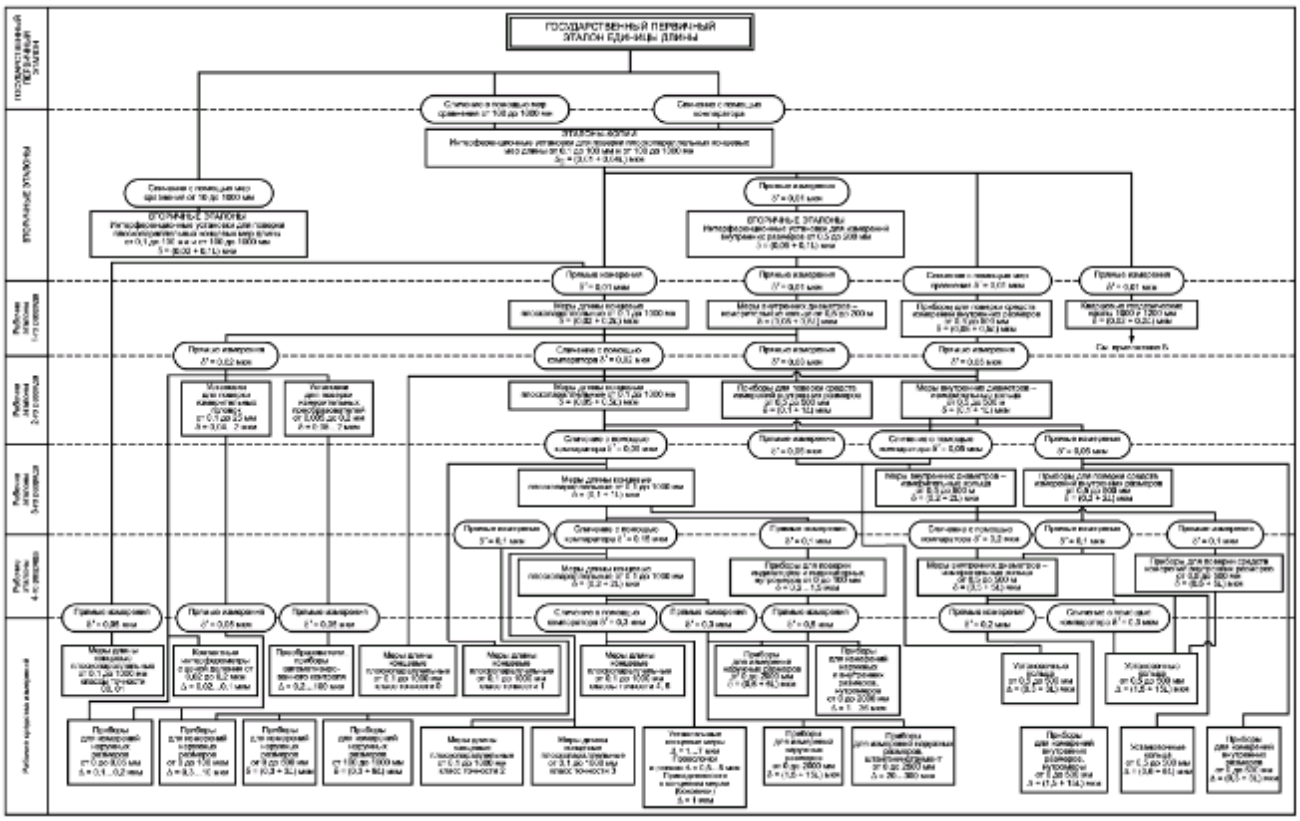


Рисунок В.1

Приложение Г (обязательное). Государственная поверочная схема для средств измерений длины в диапазоне от 1·10_(-9) до 50 м и длин волн в диапазоне от 0,2 до 50 мкм. Часть 4. Измерители перемещений, меры рельефные и микроскопы в области нанодиапазона

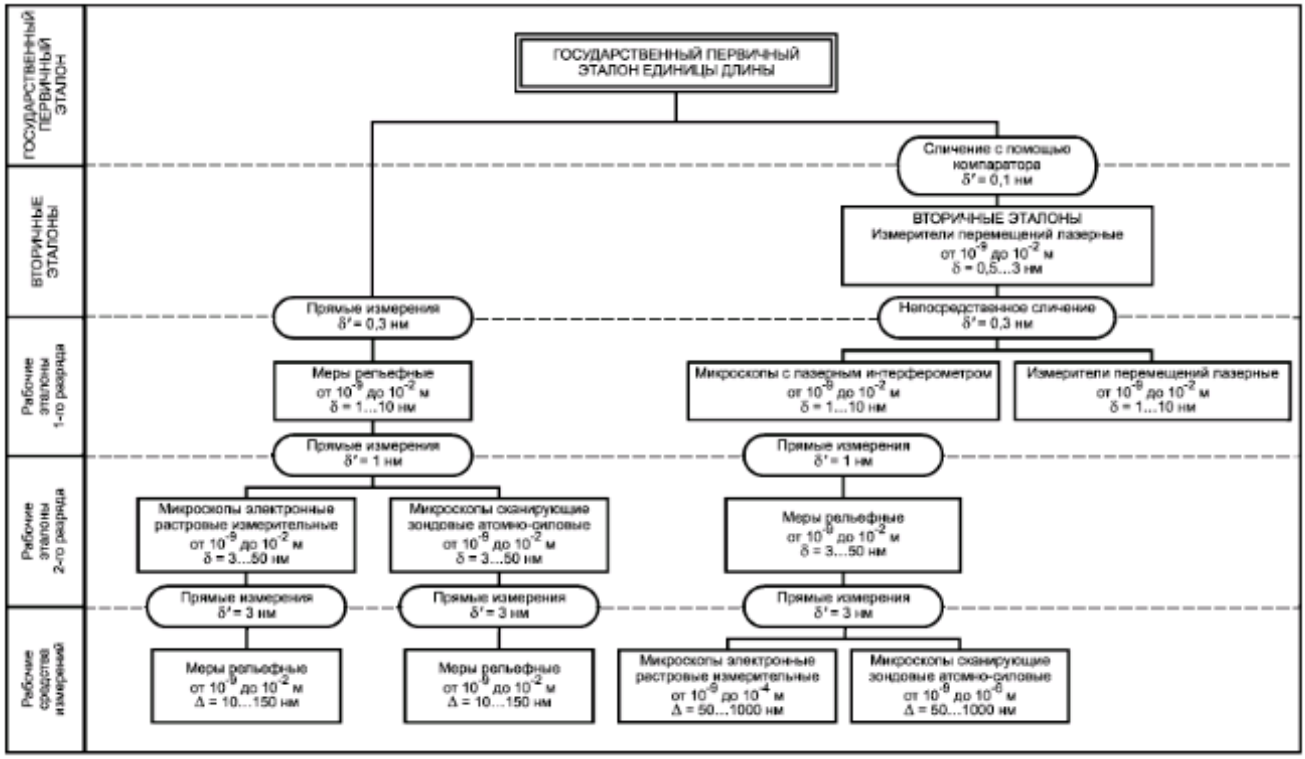

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕРВИЧНЫЙ ЭТАЛОН
ВТОРИЧНЫЕ ЭТАЛОНЫ
Рабочие эталоны 1-го разряда
Рабочие эталоны 2-го разряда
Рабочие средства измерений
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕРВИЧНЫЙ ЭТАЛОН ЕДИНИЦЫ ДЛИНЫ
Сличение с помощью компаратора δ' = 0,1 нм
ВТОРИЧНЫЕ ЭТАЛОНЫ Измерители перемещений лазерные от 10^-9 до 10^-2 м δ = 0,5...3 нм
Прямые измерения δ' = 0,3 нм
Непосредственное сличение δ' = 0,3 нм
Меры рельефные от 10^-9 до 10^-2 м δ = 1...10 нм
Микроскопы с лазерным интерферометром от 10^-9 до 10^-2 м δ = 1...10 нм
Измерители перемещений лазерные от 10^-9 до 10^-2 м δ = 1...10 нм
Прямые измерения δ' = 1 нм
Прямые измерения δ' = 1 нм
Микроскопы электронные растровые измерительные от 10^-9 до 10^-2 м δ = 3...50 нм
Микроскопы сканирующие зондовые атомно-силовые от 10^-9 до 10^-2 м δ = 3...50 нм
Меры рельефные от 10^-9 до 10^-2 м δ = 3...50 нм
Прямые измерения δ' = 3 нм
Прямые измерения δ' = 3 нм
Прямые измерения δ' = 3 нм
Меры рельефные от 10^-9 до 10^-2 м Δ = 10...150 нм
Меры рельефные от 10^-9 до 10^-2 м Δ = 10...150 нм
Микроскопы электронные растровые измерительные от 10^-9 до 10^-4 м Δ = 50...1000 нм
Микроскопы сканирующие зондовые атомно-силовые от 10^-9 до 10^-6 м Δ = 50...1000 нм

Рисунок Г.1