

УДК 381.1:621.833 + 531.7

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕРВИЧНЫЙ ЭТАЛОН ЕДИНИЦЫ ДЛИНЫ

Г.А.Зимохосов, Ю.П.Мачехин, В.П.Оголюк, В.С.Соловьев, Э.П.Янушкевич

Рассмотрены принципы построения, структура, методика выполнения измерений, а также результаты исследования созданного в Харьковском государственном научно-исследовательском институте метрологии государственного первичного эталона единицы длины.

В 1998 г. Коллегия Госстандарта Украины утвердила государственный первичный эталон единицы длины и государственную поверочную схему для средств измерения длины. Государственный стандарт ДСТУ 3741-98 был введен в действие с 01.01.1999 г.

В работе [1] коротко описан проект первичного эталона. Реализация, результаты исследования и эксплуатации созданного эталона приведены в настоящей статье.

На период создания эталона уже действовали новое определение единицы длины – метра, а также рекомендации международных метрологических организаций, касающиеся методов его воспроизведения [2]. С учетом этого для воспроизведения единицы длины в эталоне использовалась длина волны стабилизированного с использованием эффекта насыщенного поглощения в йоде He-Ne лазера с длиной волны $\lambda = 633$ нм, одного из рекомендованных для использования в [3]. Схема построения эталона приведена на рис. 1, из которого видно, что длина световой волны стабилизированного лазера используется затем для аттестации по длине волны других лазерных источников или эталонных ламп при помощи спектрокомпаратора, а также для высокоточных измерений длин концевых и штриховых мер длины при помощи интерференционного компаратора.

На рис. 2 приведена структурно-функциональная схема созданного эталона. Сравнивая ее с аналогичной схемой, приведенной в [1], можно увидеть, что проект реализован практически полностью, хотя ввиду его сложности и учитывая короткие сроки (1992–1997 гг.), его осуществление сталкивалось с большими финансовыми трудностями.

Созданный первичный эталон состоит, как и планировалось, из трех комплексов:

- лазерных источников излучения (КЛИ);
- спектрокомпаратора (СК);
- аппаратуры штриховых мер длины (КМД).

Каждый из этих комплексов выполняет свои функции практически автономно, однако между ними существует взаимосвязь, обусловленная принятой концепцией воспроизведения и передачи единицы длины с использованием длины световой волны. Автономность работы обеспечивается, в частности, тем, что для каждого комплекса созданы необходимые условия эксплуатации в части обеспечения необходимых параметров окружающей среды, оборудования помещений и т.д. Каждый комплекс располагает также автономной системой сбора и обработки измерительной информации на базе компьютера.

Поскольку в каждом из комплексов СК и КМД измерения осуществляются с использованием длины световой волны, связь с комплексом КЛИ осуществляется технически благодаря тому, что в составе каждого из них есть аналогичные лазерные системы, включающие стабилизированные лазеры, сравниваемые между собой.

Рассмотрим более подробно структуру каждого из комплексов и результаты их исследования.



Рис. 1

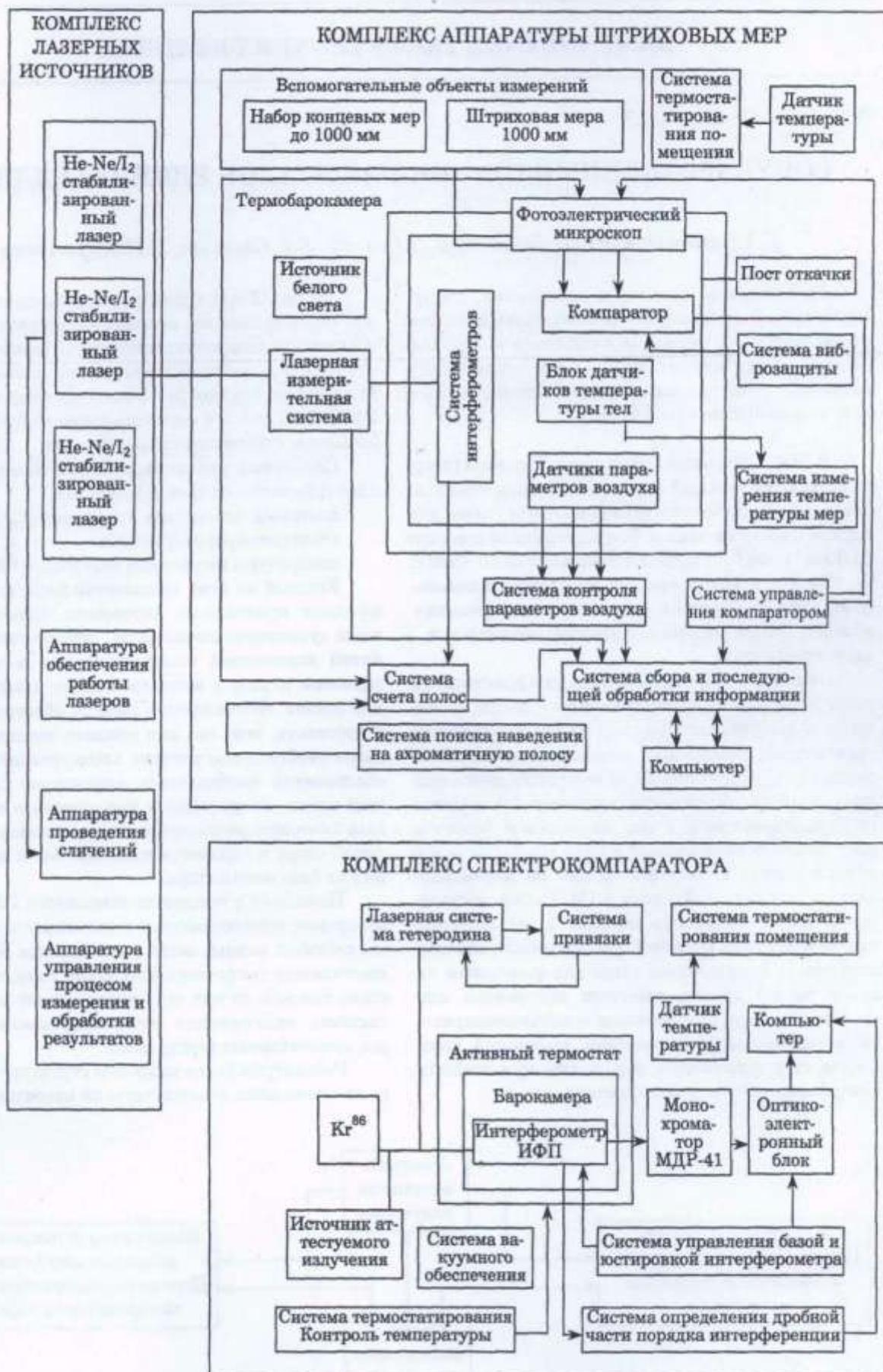


Рис. 2

КОМПЛЕКС ЛАЗЕРНЫХ ИСТОЧНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ

В созданном эталоне впервые реализована концепция групповой меры единицы длины, как это, например, реализуется при воспроизведении единиц времени и частоты или при воспроизведении единиц некоторых электрических величин. Такая концепция, прежде всего, позволяет повысить метрологическую надежность системы, а также снизить погрешность воспроизведения единицы, в данном случае – единицы длины. В состав созданного комплекса входят три идентичных по конструкции He-Ne лазера, стабилизированных с использованием эффекта насыщенного поглощения в йоде при длине волны $\lambda = 633$ нм и рекомендованных Международным бюро мер и весов (МБМВ) для использования в качестве источников эталонного излучения [3]. Эти лазеры изготовлены и исследованы в ХГНИИМ, где работы в области стабилизации частоты лазеров ведутся достаточно длительное время [4]. He-Ne лазеры конструктивно и функционально объединены в установку, которая позволяет осуществлять их настройку, сравнение между собой, сбор и обработку измерительной информации (см. рис. 3, где АПЧ – система автоподстройки частоты, УФП – усилитель фотоприемника). В этой установке имеется оптическая система для сведения лазерных пучков и направления их в фотоприемники, а также аппаратура для сбора и обработки информации. Оптическая часть установки размещена на массивном фундаменте в помещении, где осуществляется кондиционирование воздуха для обеспечения стабильных условий выполнения измерений.

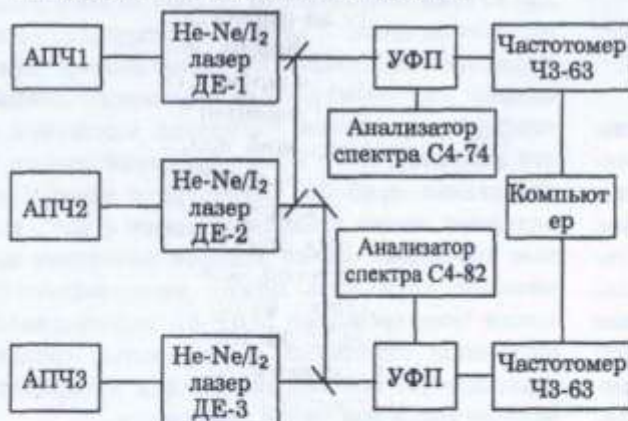


Рис. 3

Не вникая в детали конструкции лазеров и систем их стабилизации, укажем, что они созданы по общепринятой методике, с использованием рекомендаций МБМВ относительно параметров усиливающих и поглощающих элементов, плотности мощности в резонаторе и т.д. Стабилизация частоты лазеров осуществляется с помощью системы АПЧ, работающей по методу стабилизации частоты излучения лазера по 3-й гармонике модулирующего сигнала. Лазеры имеют вид законченных кон-

струкций, предназначенных для самостоятельной поставки.

Исследования лазеров проводились по методике, принятой для проведения международных сличений и состоящей, в основном, в определении влияния системы автоподстройки частоты на стабильность и воспроизводимость частоты (длины волны) лазера, а также точности воспроизведения вершины пика насыщенного поглощения йода $^{127}\text{I}_2$, который используется для стабилизации частоты.

В табл. 1 приведены результаты исследования влияния различных факторов на стабильность и воспроизводимость частоты лазеров. В этой таблице лазеры именуются как DEi, *i* обозначает величину коэффициента влияния конкретного фактора для пиков поглощения *g*, *e*, *f*, *d*, а *s* – оценка среднеквадратического отклонения (СКО) погрешности определения этого коэффициента.

Воспроизводимость частоты лазеров проверялась матричным методом в различных режимах: от настройки к настройке системы АПЧ на соответствующий пик поглощения, от включения к включению системы АПЧ и при непрерывной работе. В этих сличениях использовался лазер КИМ-2, по конструкции аналогичный с лазерами, используемыми в КЛИ, который принимал участие в различных международных сличениях, что позволило определить его метрологические характеристики, в том числе абсолютные значения его частоты, с высокой степенью точности [5].

В проведенных экспериментах этот лазер служил в качестве опорного, относительно которого определялись характеристики других лазеров, в частности, определялось абсолютное значение их частот. Отклонения частот $\Delta\nu$ лазеров DEi от частоты лазера КИМ-2 приведены в табл. 2. Здесь же приведены оценки точности СКО этих значений. Имея в виду, что выдержаны все условия, рекомендованные в [3], проведенные исследования позволяют определить абсолютные значения частот (длин волн) всех лазеров, а также вычислить частоту группового лазерного эталона как среднее значение из частот трех лазеров. Выполнение усреднения на основании данных табл. 2 дает: $\nu_{\text{эт}} = 473612214705$ кГц; $\lambda_{\text{эт}} = 632991398,22$ фм.

При сравнении с групповым эталоном других лазеров с этой же длиной волны, результат выражается как среднее арифметическое из результатов сличения с каждым из лазеров группового эталона, что позволяет снижать как случайную составляющую погрешности результата, так и величину неисключенного остатка. Что касается характеристик погрешности приведенных выше значений $\nu_{\text{эт}}$ и $\lambda_{\text{эт}}$, то результаты исследований дали значение неисключенного остатка систематической погрешности $\theta_{\text{эт}} = 5,5$ кГц, а относительное значение случайной составляющей $S \approx 1,4 \cdot 10^{-11}$. Нестабильность лазерного комплекса за длительный период времени определялась по результатам внутригрупповых сличений и оказалась равной $\sim 7 \cdot 10^{-12}$ на интервале ~ 4 месяца.

Таблица

Лазеры		ДЕ-1		ДЕ-2		ДЕ-3		КИМ-2	
		<i>B</i>	<i>s</i>	<i>B</i>	<i>s</i>	<i>B</i>	<i>s</i>	<i>B</i>	<i>s</i>
Коэффициент влияния изменения температуры йода ($\Delta f/\Delta \Theta I_2$), кГц/°C	<i>d</i>	-12,8	0,8	-14,2	0,5	-16,1	0,3		
	<i>e</i>	-13,2	0,5	-14,0	0,8	-15,5	0,6		
	<i>f</i>	-15,5	0,6	-13,2	0,5	-15,8	0,5		
	<i>g</i>	-14,7	0,6	-12,8	0,8	-15,5	0,4		
Среднее		-14,0	0,6	-13,6	0,6	-15,7	0,5	-10	
Оценка дисперсии <i>S</i>		0,6		0,7		0,3		2,5	
Коэффициент влияния изменения давления йода ($\Delta f/\Delta P I_2$), кГц/Па	<i>d</i>	-8,1	0,4	-9,0	0,2	-10,2	0,2		
	<i>e</i>	-8,4	0,2	-8,9	0,6	-9,8	0,2		
	<i>f</i>	-9,8	0,2	-8,4	0,2	-10,0	0,4		
	<i>g</i>	-9,1	0,3	-8,1	0,4	-9,8	0,2		
Среднее		-8,9	0,3	-8,6	0,4	-9,9	0,3	-8,5	
Оценка дисперсии <i>S</i>		0,3		0,4		0,2		3,0	
Коэффициент влияния изменения амплитуды модуляции ($\Delta f/f_m$), кГц/МГц	<i>d</i>	-5,7	0,9	-7,0	1,0	-6,4	0,7		
	<i>e</i>	-8,1	0,8	-9,1	0,3	-8,8	1,0		
	<i>f</i>	-8,8	0,8	-9,0	0,3	-8,9	0,7		
	<i>g</i>	-9,7	0,4	-9,8	0,6	-9,6	0,4		
Среднее		-8,1	0,7	-8,7	0,6	-8,4	0,7	-7,8	
Оценка дисперсии <i>S</i>		1,7		1,2		1,4		2,0	
Коэффициент влияния изменения выходной и соответствующей внутрирезонаторной мощности ($\Delta f/\Delta P$), кГц/мВт	<i>d</i>	-0,21	0,07	-0,02	0,02	-0,06	0,05		
	<i>e</i>	-0,47	0,04	-0,02	0,04	-0,01	0,02		
	<i>f</i>	-0,46	0,03	-0,02	0,02	-0,05	0,04		
	<i>g</i>	-0,45	0,11	-0,06	0,05	-0,09	0,02		
Среднее		-0,39	0,06	-0,03	0,04	-0,05	0,04	-0,19	
Оценка дисперсии <i>S</i>		0,13		0,02		0,04		0,08	

Таблица 2

	ДЕ-1	ДЕ-2	ДЕ-3
Δ , кГц	11,7	-4,3	-11,4
<i>s</i> , кГц	7,3	7,5	7,6

Среднее значение $f_{\text{КИМ-2}} - f_{\text{КЛИ}} = -4$ кГц, $s = 7,5$ кГц.

КОМПЛЕКС СПЕКТРОКОМПАРАТОРА

Комплекс спектрокомпаратора, как уже указывалось, предназначен для передачи единицы длины от комплекса лазерных источников КЛИ другим лазерам или эталонным лампам. Этот комплекс "получает" единицу с использованием лазерной гетеродинной системы (ЛГС), которая состоит из лазера-репера (He-Ne/I₂) и лазера-гетеродина, причем длина волны (частота) лазера-репера определяется путем сличений с КЛИ, а лазер-гетеродин стабилизирован (или контролируется) по частоте лазера-репера и используется непосредственно в измерениях. Таким образом, его частота $\nu_{\text{гет}} = \nu_{\text{реп}} \pm \Delta f$, где Δf – измеряемая разность частот. ЛГС является одной из важнейших систем спектрокомпаратора, структурно-функциональная схема которого показана на рис. 4. Второй его важнейшей частью является вакуумированный, термостатированный интерферометр Фабри-Перо (ИФП) с переменным расстоянием между зеркалами и возможностью юстировки зеркал с помощью пьезокерамических элементов. Распорки интерферометра выполнены из ситалла и пьезокерамики, зеркала устанавливаются на оп-

тический контакт к распоркам и являются широко полосными от 0,4 до 3,4 мкм. Измерения производятся при двух длинах базы интерферометра для снятия погрешности за счет скачка фазы при отражении света от зеркал. Конструкция распорок позволяет сформировать конденсатор, который служит для определения изменений длины интерферометра путем измерений изменений емкости конденсатора с помощью специального измерительного прибора. Структурная схема (рис. 4) включает также эталонную лампу с Kr⁸⁶, вторичные эталонные линии которой позволяют предварительно определять длину интерферометра, а также монохроматор МДР-41, используемый для выделения отдельных спектральных составляющих, другую вспомогательную и измерительную аппаратуру, в том числе компьютер.

Для обеспечения работы спектрокомпаратора разработаны специальные программы, которые позволяют управлять процессом измерений, осуществлять сбор и обработку информации.

Принцип работы системы базируется на простом соотношении, определяющем, что расстояние между зеркалами интерферометра L в самом общем виде может быть выражено следующим образом $2L = n_0 \lambda_0 = n_x \lambda_x$, где $n_0 = N_0 + \epsilon_0$ и $n_x = N_x + \epsilon_x$, причем N и N_0 – порядок интерференции для соответственно измеряемой и эталонной длин волн, а ϵ_0 и ϵ_x – соответственно дробные части порядков. Тогда



Рис. 4

$$\lambda_x = \frac{N_0 + \varepsilon_0}{N_x + \varepsilon_x} \cdot \lambda_0.$$

В предположении, что в интерферометре создан высокий вакуум, в этом выражении не введены показатели преломления. Если измеряется длина волны λ_x , сильно отстоящая от эталонной, измерения производятся при двух длинах интерферометра. Тогда, с учетом высокого вакуума в интерферометре, получаем

$$\lambda_x = \frac{(N_0)_I - (N_0)_{II}}{(N_x + \varepsilon_x)_I - (N_x + \varepsilon_x)_{II}} \cdot \lambda_0.$$

В этом выражении принимается во внимание, что длина интерферометра при измерениях содержит целое число полуволи эталонного излучения.

Из сказанного следует, что необходимо определить длину интерферометра с высокой точностью. Для этой цели используется метод совпадения дробных частей порядков вторичных эталонных линий, излучаемых лампой с Kr^{86} , а также излучения лазера-гетеродина, стабилизируемого по лазеру-реперу. При этом интерполятором дробных частей служит емкостный преобразователь перемещений, что и обеспечивает высокую точность измерений. Настройка на максимумы линий происходит с помощью системы АПЧ, а переход от линии к линии – вручную с контролем по монохроматору.

Основными источниками погрешностей спектрокомпаратора, как показал анализ, являются:

погрешность воспроизведения эталонной длины волны, S_{λ_0} ;

погрешность определения дробной части порядка интерференции, S_ε ;

погрешность, связанная с температурной стабильностью ИФП, S_T ;

погрешность, обусловленная неплоскостностью и непараллельностью зеркал ИФП, S_Δ ;

погрешность, обусловленная остаточным давлением воздуха в интерферометре, S_n .

Проведенные исследования позволили определить теоретически и экспериментально величины этих погрешностей, которые приведены в табл. 3.

Таблица 3

S_{λ_0}	S_ε	S_T	S_Δ	S_n
$2 \cdot 10^{-10}$	$1,5 \cdot 10^{-9}$	$1,8 \cdot 10^{-9}$	$5 \cdot 10^{-10}$	$6 \cdot 10^{-10}$

Суммарная погрешность, которая определялась в предположении, что входящие величины являются независимыми, составила величину $S_\Sigma = 3 \cdot 10^{-9}$, что было подтверждено экспериментально, в частности, при измерении длины волны оранжевой линии Kr^{86} .

Комплекс спектрокомпаратора, как и КЛИ, расположен в помещении, где обеспечиваются стабильные температурные условия, ламинарные потоки воздуха, на фундаментах, защищающих аппаратуру от вибрационных возмущений.

КОМПЛЕКС АППАРАТУРЫ ШТРИХОВЫХ МЕР

Как и в спектрокомпараторе, источником излучения для измерения длин штриховых и концевых мер является ЛГС, включающая лазер-репер ($He-Ne/I_2$ лазер), частота (длина волны) которого получена путем сличения с КЛИ, и лазер-гетеродин, "привязанный" по частоте к лазеру-реперу. Излучение лазера-гетеродина используется для интерференционных измерений в компараторе. Измерительная часть компаратора представляет собой сложную оптико-механическую систему, состоящую из лазерного интерферометра Майкельсона, интерферометра белого света, включающих общее плечо, отражатель которого размещен на подвижной каретке. На этой же каретке размещены фотоэлектронные микроскопы (ФЭМ), необходимые для наведения на штрих в штриховой мере. Оптическая схема разработана таким образом, чтобы избежать погрешностей Аббе. Измеряемые меры располагаются на специальных ложементках в одном из плеч (неподвижном) интерферометра Майкельсона на столе, обеспечивающем точное перемещение, причем к "нижней" поверхности измеряемой концевой меры притирается стеклянная пластина.

Измерения длины штриховых мер производятся путем наведения ФЭМ на штрихи, ограничивающие измеряемый участок меры. При этом расстояние между двумя положениями ФЭМ измеряется с помощью лазерного интерферометра. Дробная часть порядка интерференции определяется модуляционным методом автоматически. Наведение на штрих также осуществляется автоматически модуляционным методом. Измерение длины концевых мер производится с помощью лазерного интерферометра путем измерения расстояния между двумя последовательными наведениями на ахроматические полосы нулевого порядка, возникающие в интерферометре белого света при перемещении каретки. Наведение на полосы производится автоматически модуляционным методом, и, как и ранее, учитывается дробная часть порядка интерференции.

Конструкция компаратора предусматривает возможность измерения длин концевых мер как в динамике, так и в статике, а также последовательное компарирование штриховых мер длины.

Измерительная система располагается на специальной станине, изготовленной ЭНИМС (г. Москва), обеспечивающей точное перемещение подвижной каретки по направляющим на длину ~1100 мм, а также перемещение стола с мерами в диапазоне 100 мкм. Перемещение каретки осуществляется специальным приводом, а стола – шаговым двигателем с рычажной передачей. Управление приводом и двигателем осуществляется от компьютера.

Станина с интерферометрами расположена на виброзащитной системе, состоящей из нескольких ступеней, в том числе резино-металлических амортизаторов, массивного фундамента и пневмоопор. Исследования показали, что такая система позволяет проводить измерения в условиях центра города с достаточно большими транспортными помехами, включая и метрополитен.

Для высокоточных измерений длины концевых и штриховых мер, учитывая также использование для этой цели интерферометров, необходимо, как известно, обеспечивать стабильные в процессе измерений параметры окружающей среды (так называемые нормальные условия), с высокой точностью измерять температуру, давление и влажность для определения показателя преломления среды, температуру мер – для введения температурной поправки при пересчете длины к 20 °С.

Стабильные условия обеспечиваются благодаря размещению компаратора в термобарокамере, которая представляет собой активный термостат. В этом термостате при внешней температуре 17–18 °С устанавливается температура $(20 \pm 0,05)$ °С. Измерения температуры осуществляются как абсолютным методом с использованием платинового термометра сопротивления, так и относительным с использованием дифференциальных термпар с погрешностью $(3-4) \cdot 10^{-3}$ °С. Для обеспечения стабильности градиентов температуры, их уменьшения из каме-

ры по возможности удалены источники тепла. Тамаршевый двигатель привода каретки, а также ЛП и лампа (источник белого света) расположены в камере.

Камера представляет собой цилиндр диаметром 3000 мм и длиной ~5000 мм, изготовленный из отдельных алюминиевых секций, окруженный 40-миллиметровым слоем изоляционного материала и внешней металлической оболочкой. Эта камера может откачиваться до низкого давления с помощью форвакуумных насосов, расположенных в отдельном помещении. Стабилизация и измерение температуры с высокой точностью в таких камерах представляют собой самостоятельную сложную техническую проблему, описанию решения которой будет посвящена отдельная публикация.

Важным фактором является поддержание комнаты, где расположена камера, температур (17 ± 1) °С, обеспечиваемой с помощью кондиционера.

Весь процесс выполнения измерений осуществляется под управлением компьютера. Для этого разработаны соответствующие программы, алгоритмы которых базируются на стандартизованных методиках измерений. Система предварительной обработки информации перед компьютером (рис. 2) реверсивный счетчик и другая аппаратура расположены в отдельной комнате оператора, где установлена измерительная машина для предварительного измерения параметров концевых мер. Имеется также комната для подготовки мер к измерениям. Таким образом, рассматриваемый комплекс, с учетом помещения для вакуумного поста, занимает комнаты.

Для измерений как штриховой, так и концевой меры уравнения измерений одинаковые: $L = (N + \Delta N) \cdot \lambda_r / 4$, где N – целое число порядков интерференции; ΔN – дробная часть порядка интерференции; λ_r – длина волны лазера-гетеродина, привязанного к лазеру-реперу.

Рассмотрим результаты исследования комплекса и анализ погрешностей измерений.

При измерениях в результаты вводились поправки на температурное линейное расширение мер: $\Delta L_1 = \alpha(t - 20^\circ\text{C})L_{\text{ном}}$, где α – температурный коэффициент расширения меры; t – температура меры; $L_{\text{ном}}$ – номинальная длина меры или интервала, а также на давление в термобарокамере $\Delta L_p = \Delta P / E(2\mu)L_{\text{ном}}$, где $\Delta P = (P_{\text{нор}} - P)$, Па; $P_{\text{нор}} = 101324$ Па; P – давление воздуха в термобарокамере, Па; E – модуль Юнга, Н/м² ($E_{\text{сталь}} = 20,6 \cdot 10^{10}$ Н/м²); μ – коэффициент Пуассона ($\mu = 0,28$); $L_{\text{ном}}$ – номинальная длина меры или интервала.

Основными источниками погрешностей являются погрешности за счет неточности наведения ФЭМ на штрих штриховой меры, наведения на ахроматическую полосу и определения дробной части порядка. Случайная составляющая определялась путем многократных настроек соответственно на штри-

я на ахроматическую полосу. После этого лазерный интерферометр настраивался на максимум пропускания путем перемещения одного из его зеркал и измерялась величина перемещения этого зеркала путем фиксации напряжения, приложенного к пьезокерамике. Одновременно осуществлялась калибровка пьезокерамики в единицах мм/В. В результате исследования дали погрешность определения дробной части порядка с учетом точности наведения $\sim 1,6 \cdot 10^{-8}$ для штриховой меры и $6 \cdot 10^{-9}$ – для концевой. В установке также предусмотрена возможность оценки этой погрешности путем перестройки частоты лазера-гетеродина;

погрешность за счет неточности определения показателя преломления, которая составляет $4,7 \cdot 10^{-9}$ при использовании тех средств измерения температуры воздуха и его давления, которыми оснащен эталон;

погрешность за счет неточности измерения температуры меры, составляющая $\sim 1,8 \cdot 10^{-8}$;

погрешность за счет неточности определения длины волны излучения в вакууме эталонного лазера и лазера-гетеродина, составляющая не более $1 \cdot 10^{-9}$;

погрешность измерения длины меры за счет неточности измерения давления в камере и введения соответствующей поправки $\sim 3 \cdot 10^{-9}$.

Рассматривая вышеперечисленные погрешности как независимые, можно подсчитать достигнутую относительную погрешность измерения длины штриховой меры длиной 1 м: $S_{\text{ш}} = 2,6 \cdot 10^{-8}$.

Для концевой меры надо также учитывать погрешность за счет наличия притирочного слоя между поверхностью меры и нижней пластиной и вариации его толщины. Эта погрешность оценивалась величиной $\sim 3,2 \cdot 10^{-9}$.

Тогда для концевой меры длиной 1 м $S_{\text{к}} = 2,16 \cdot 10^{-8}$.

Приведенный выше анализ источников погрешностей и величин этих погрешностей подтвержден исследованиями эталона и практическими измерениями в процессе его эксплуатации. Некоторые системы эталона представляют самостоятельный научный и технический интерес, и им будут посвящены отдельные публикации.

Список литературы

1. Гафанович Г.Я., Гацкалова Т.Г., Купко В.С. и др. // Украинський метрологічний журнал. -1996. -Вип. 4. -С. 50-57.
2. Recommendation MI (BIPM Com. Cons. Def. Metre, 8 Meeting, 1992) Has been adopted by the Comite International des Poids et Mesures at its 8th Meeting as Recommendation 3 (C1 -1992).
3. Quinn T.J. //Metrologia. -1994. -N 5. -P. 523-541.
4. Мачехин Ю.П., Одинец В.А., Смулаковский В.М. и др. //Труды 5-го Российского симпозиума "Метрология времени и пространства". -М.: ИМВП НПО "ВНИИФТРИ", 1994. -С. 254-256.
5. Quinn T.J. //Metrologia. -1996. -V. 33, N 3. -P. 271-284.

THE NATIONAL PRIMARY STANDARD OF THE UNIT OF LENGTH

G.A.Zimokosov, Y.P.Machehkhin, V.P.Ogolyuk,
V.S.Solovyov, E.P.Yanushkevich

The principles of constructing, the structure, the methods of measurements realization, and also the results of the research of the national primary standard of the unit of length, which was realized at Kharkiv State Scientific Research Institute of Metrology, are considered.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Зимокосов Геннадій Олексійович –	кандидат технічних наук, начальник лабораторії ХДНДІМ, м. Харків
Мачехін Юрій Павлович –	кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, заступник директора ХДНДІМ, м. Харків
Оголюк Василь Петрович –	кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, виконуючий обов'язки директора ХДНДІМ, м. Харків
Соловійов Валентин Сергійович –	доктор технічних наук, професор, начальник відділу ХДНДІМ, м. Харків
Янушкевич Ерлен Павлович –	кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник ХДНДІМ, м. Харків