

УДК 535.241

Устройство юстировки тела накала светоизмерительных ламп

Длугунович В.А.¹, Ждановский В.А.¹, Липлянин А.А.¹, Никоненко С.В.¹, Тарасова О.Б.²

¹Институт физики НАН Беларуси,
пр. Независимости, 68, 220072, г. Минск, Беларусь

²Белорусский государственный институт метрологии,
Старовиленский тракт, 93, 220053, г. Минск, Беларусь

Поступила 29.09.2014

Принята к печати 27.10.2015

При выполнении фотометрических измерений, связанных с использованием светоизмерительных ламп, необходимо, чтобы тело накала лампы занимало строго заданное положение относительно фотоприемника и оптической оси фотометрической установки. Неточность позиционирования плоскости тела накала (ТН) лампы относительно оптической оси измерительной системы ведет к увеличению неопределенности измерений фотометрических характеристик источников света. Типичный способ юстировки ТН светоизмерительных ламп основан на использовании при юстировке диоптрийных трубок (телескопов) и осуществляется посредством последовательных приближений, что требует особой концентрации оператора и много времени. Цель данной работы – разработать устройство юстировки, обеспечивающее возможность одновременной юстировки ТН ламп в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Представлены способ и устройство юстировки источников излучения при фотометрических измерениях на основе двух цифровых видеокамер. Устройство позволяет одновременно отображать на экране компьютера изображение ТН ламп в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Устройство юстировки исключает большое количество функциональных узлов, требующих поэлементной юстировки, что сокращает затраты времени на проведение юстировки. Устройство также обеспечивает отображение ТН лампы с непрозрачным напылением на колбе. Устройство используется в Национальном эталоне единиц силы света и освещенности Республики Беларусь.

Ключевые слова: юстировка, тело накала, светоизмерительная лампа.

Адрес для переписки:

Никоненко С.В.
Институт физики НАН Беларуси,
пр. Независимости, 68, 220072, г. Минск, Беларусь
e-mail: s.nikonenko@dragon.bas-net.by

Address for correspondence:

Nikanenka S.V.
Institute of Physics of the National Academy of Science of Belarus,
Nezavisimosti Ave., 68, 220072, Minsk, Belarus
e-mail: s.nikonenko@dragon.bas-net.by

Для цитирования:

Длугунович В.А., Ждановский В.А., Липлянин А.А., Никоненко С.В.,
Тарасова О.Б.
Устройство юстировки тела накала светоизмерительных ламп
Приборы и методы измерений
2015. – Т. 6, № 2. – С. 148–155

For citation:

Dlugunovich V.A., Zhdanovskii V.A., Liplianin A.A., Nikanenka S.V.,
Tarasova O.B.
The apparatus for alignment of the photometric lamp filament
Devices and Methods of Measurements
2015, vol. 6, No. 2, pp. 148–155

Введение

При выполнении ряда фотометрических измерений, связанных с использованием светоизмерительных ламп, необходимо, чтобы тело накала (ТН) светоизмерительной лампы занимало строго заданное положение относительно фотоприемника и оптической оси фотометрической установки [1]. Например, при измерениях силы света светоизмерительных ламп их ТН должно быть выставлено в вертикальной плоскости перпендикулярно оптической оси измерительной системы, при этом оптическая ось установки должна быть выставлена в горизонтальной плоскости [1–4]. Неточность позиционирования плоскости ТН лампы относительно оптической оси измерительной системы вносит дополнительную неопределенность в результат измерений фотометрических характеристик источников света.

Типичный способ юстировки ТН светоизмерительных ламп, применяемый в ведущих Национальных метрологических центрах, следующий [2, 3]: ТН лампы ориентируется вертикально, путем визуального сравнения с помощью диоптрийных трубок или телескопов, наклона ТН лампы с референсной вертикальной линией создаваемой отвесом и крестообразными маркерами расположенными на стенах комнаты (или специальных экранах), где расположена фотометрическая установка.

Юстировка ТН светоизмерительных ламп с помощью диоптрийных трубок (телескопов) весьма трудоемка, так как при ее выполнении по одной координате наблюдение за перемещением ТН осуществляется в одном направлении, однако из-за несовершенства юстировочных механизмов такое перемещение ТН вызывает нежелательные и незаметные смещения ТН по другим координатам. Эти смещения можно заметить, если перейти к наблюдению за ТН с другого, как правило, ортогонального направления. В результате установка ТН лампы в необходимое положение осуществляется методом последовательных приближений, что требует особой концентрации внимания и отнимает много времени у оператора.

Для установки в рабочее положение светоизмерительных ламп с колбами, матированными изнутри, предложено использовать He-Ne лазер [4, 5]. В этом случае лампа выставляется в горизонтальной оси измерительной системы по лазерному лучу, отраженному назад от колбы. Для юстировки лампы в направлении, ортогональном оптической оси установки (по вертикали), используют теле-

скоп с присущими этому способу недостатками.

Известен способ юстировки ТН ламп с помощью только He-Ne лазера – как в направлении оптической оси фотометрической установки, так и в ортогональном ей направлении¹. Для этого используют два матовых экрана с перекрестиями, рассеивающую линзу и поворотные зеркала. Выставляют лампу в рабочее положение, наблюдая поочередно за расположением теневых проекций нитей ТН лампы в симметрированных относительно перекрестий экранов пятнах излучения юстировочного лазера. При этом на первом экране наблюдают отдельные проекции всех нитей, образующих плоскость ТН лампы (вид «анфас»), а на втором экране при отъюстированном положении ТН лампы видна проекция только одной нити ТН лампы (вид «в профиль»). Такой способ юстировки эффективнее приведенных выше способов, так как при проведении подготовительной работы по формированию оптических осей и при выполнении юстировки ТН ламп исключается необходимость перемещения оператора от телескопа к телескопу у каждой оптической оси и не затрачивается время на адаптацию глаза и подстройку резкости каждого телескопа. Тем не менее и при использовании данного способа установка ТН ламп в необходимое положение относительно фотоприемника довольно кропотливая и трудоемкая задача.

Цель данной работы – создание устройства юстировки, обеспечивающее возможность одновременной юстировки ТН ламп в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, что позволит сократить время проведения юстировочных работ.

Юстировка тела накала светоизмерительных ламп с помощью цифровых камер

В 2008–2011 гг. проводились работы по модернизации Национального эталона единиц силы света и освещенности Республики Беларусь. Цель модернизации заключалась в расширении диапазона измерений силы света и коррелированной цветовой температуры источников излучения, а также создаваемой ими освещенности. Модернизация проводилась в три этапа, условно названные колориметрический, фотометрический и геометрический.

¹ Михайлов, М.В. Способ юстировки протяженного источника света на фотометрической скамье / М.В. Михайлов // Фотометрия и ее метрологическое обеспечение: тезисы докладов 6-й Всес. науч.-техн. конф, Москва, 27–31 окт. 1986 г. / ВНИИОФИ. – М., 1986. – С. 227.

Основным результатом выполнения колориметрического этапа было создание колориметрического блока эталона [6]. В результате фотометрического этапа был создан фотометр малых уровней освещенности [7]. Для третьего этапа одной из поставленных задач являлась оптимизация измерительных процедур на эталоне с целью сокращения временных затрат при проведении работ на нем. В рамках решения этой задачи было разработано и изготовлено устройство юстировки ТН светоизмерительных ламп с помощью цифровых камер. Принципиальная схема этого устройства изображена на рисунке 1.

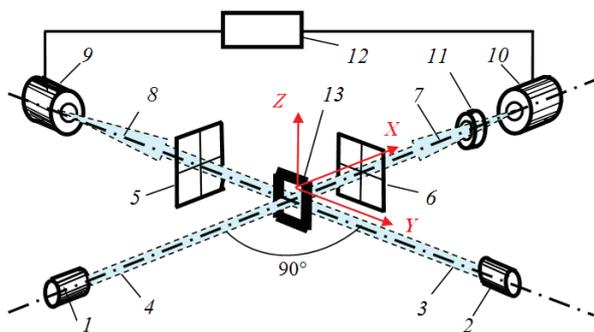


Рисунок 1 – Схема юстировки тела накала светоизмерительной лампы; 1, 2 – лазеры; 3, 4 – пучки лазерного излучения; 5, 6 – рамки с перекрестиями; 7, 8 – оптические оси устройства; 9, 10 – цифровые видеокамеры; 11 – фотоприемник; 12 – персональный компьютер; 13 – тело накала светоизмерительной лампы

Figure 1 – Scheme of alignment the filament of photometric lamp: 1, 2 – lasers; 3, 4 – laser beams; 5, 6 – frame with a cross; 7, 8 – optical axes of the device; 9, 10 – digital video cameras; 11 – photodetector; 12 – computer; 13 – filament of photometric lamp

Устройство включает два оптических рельса (не показанных на рисунке), размещенные под прямым углом; рабочие поверхности, которых расположены в горизонтальной плоскости. На одном из рельсов на регулируемых по линейным и угловым координатам каретках устанавливают юстировочный лазер 1, рамку с перекрестием 6, фотоприемник 11, цифровую видеокамеру (ЦВК) 10. При снятом с рельса фотоприемнике 11 и закрытом непрозрачным экраном объективе ЦВК 10 (во избежание повреждения матрицы камеры), с помощью пучка 4 юстировочного лазера 1 формируют оптическую ось фотометрической установки (ОФУ) 7, параллельную направляющим рельсам.

Если ось сформирована, то при перемещении рамки с перекрестием 6 вдоль рельса центр пере-

крестия совпадает с центром пятна, создаваемого на перекрестии пучком 4 юстировочного лазера 1.

После завершения формирования ОФУ все установленные на этом рельсе элементы устройства (юстировочный лазер 1, перекрестие 6, фотоприемник 11, ЦВК 10) центрируются относительно этой оси. Прежде всего, центрируется подключенная к персональному компьютеру (ПК) ЦВК 10.

В данном методе используется программа, которая позволяет:

- накладывать виртуальное перекрестие по центру формируемого камерой кадра;
- наблюдать полученное изображение положения виртуального перекрестия на экране монитора;
- создавать на экране того же монитора отдельное окно для изображения, фиксируемого каждой из камер.

Центрирование начинают с получения резкого изображения нитей реального перекрестия 6 на экране ПК в окне ЦВК 10 посредством настройки объектива ЦВК 10. Далее, посредством линейных юстировочных перемещений ЦВК 10 в вертикальной плоскости совмещают центр пересечений линий виртуального перекрестия 2 с центром пересечения нитей реального перекрестия 6 (рисунок 2). При этом на экране ПК неподвижным остается виртуальное перекрестие 2, а перемещается изображение реального неподвижного перекрестия 6, уже выставленного по ОФУ в процессе предыдущего этапа юстировки.

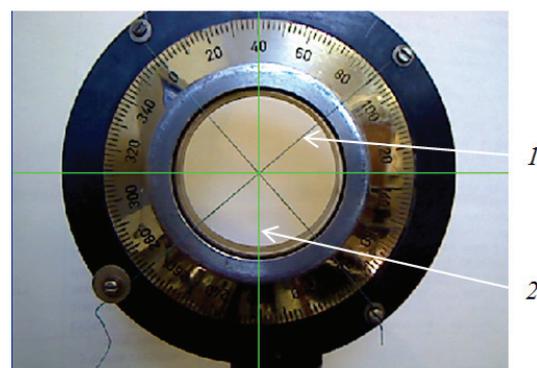


Рисунок 2 – Изображение на экране персонального компьютера совмещенных перекрестий (реального и виртуального): 1 – реальное перекрестие (5 либо 6 на рисунке 1); 2 – виртуальное перекрестие

Figure 2 – Image on the screen of a computer of aligned crosshair (real and virtual): 1 – real crosshair; 2 – virtual crosshair

Для уменьшения искажения изображения наблюдаемых объектов симметрируют поле зре-

ния ЦВК 10 относительно ООФУ. Для этого требуется выполнить ряд процедур. К плоскости наружного торца объектива ЦВК необходимо прижать непрозрачный для лазерного излучения экран (во избежание повреждения матрицы ЦВК лазерным излучением) с полированной поверхностью и направить на него пучок излучения юстировочного лазера 4, ранее центрированный относительно ООФУ. Юстируя ЦВК 10 по угловым координатам, добиваются, чтобы пятно лазерного излучения, отраженного от экрана в обратном направлении, расположилось в плоскости выходного торца лазера 1 симметрично выходящему пучку излучения.

После завершения центрирования ЦВК 10 необходимо выключить лазер 1 и убрать с рельса перекрестие 6. Поскольку в дальнейшем ТН лампы юстируется относительно виртуального перекрестия в окне камеры на экране ПК, необходимо, чтобы линии этого перекрестия располагались вертикально и горизонтально относительно плоскости XU (рисунок 1). Чтобы добиться этого, можно использовать отвес, находящийся в состоянии покоя, нить которого вводится в поле зрения ЦВК 10. С помощью объектива камеры необходимо настроиться на резкое изображение нити. Поворачивая относительно ООФУ камеру 10 в вертикальной плоскости, необходимо добиться, чтобы изображение нити стало параллельным вертикальным линиям виртуального перекрестия (рисунок 3а). В противном случае изображение нити отвеса на экране монитора ПК будет пересекать линии

виртуального перекрестия камеры.

Далее требуется установить на рельс каретку с фотоприемником 11, включить лазер 1 и отъюстировать положение фотоприемника относительно лазерного пучка визуальным или по максимуму выходного сигнала фотоприемника 11; установить на рельс и жестко закрепить вплотную к каретке фотоприемника 11 упор, позволяющий после снятия с рельса каретки с фотоприемником устанавливать ее повторно в прежнее положение без нарушения достигнутых ранее юстировок фотоприемника. Для возможности контроля установки фотоприемника в прежнее положение относительно ООФУ после его возвращения на рельс на тыльной стороне приемника, обращенной к ЦВК 10, необходимо установить реперную метку. Метка в процессе юстировки фотоприемника должна быть совмещена с центром виртуального перекрестия ЦВК 10.

Теперь при снятии с рельса каретки с фотоприемником 11 и установке на рельс лампы с ТН 13 появляется возможность симметрирования фронтальной поверхности ТН лампы относительно ООФУ.

Для одновременного наблюдения за процессом установки плоскости ТН лампы перпендикулярно ООФУ вдоль рабочей поверхности второго рельса формируют вспомогательную оптическую ось фотометрической установки (ВООФУ). На этот рельс, в соответствии с рисунком 1, устанавливают юстировочный лазер 2, рамку с перекрестием 5, ЦВК 9.

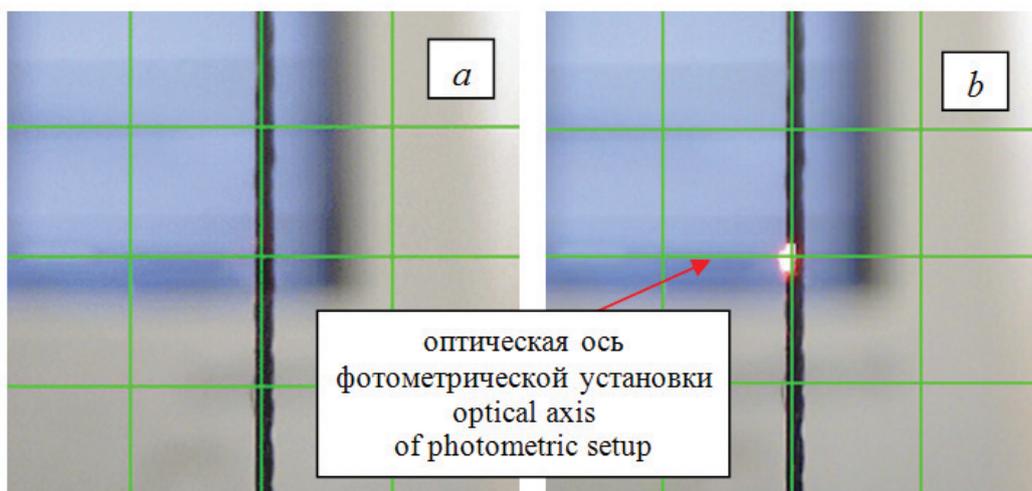


Рисунок 3 – Изображения съюстированных по нити отвеса линий виртуального перекрестия камер: *a* – изображение с камеры 10; *b* – изображение с камеры 9. Светлая точка на нити отвеса на рисунке *b* – пятно, созданное пучком 4 лазера 1 (точка пересечения нити отвеса с оптической осью фотометрической установки)

Figure 3 – Images of the virtual crosshair of cameras that are aligned relative to plumb line: *a* – image from the camera 10; *b* – image from the camera 9. The bright point on the plumb line in Figure *b* is a spot of beam 4 of laser 1 (point of crossing of the plumb line with the optical axis of the photometric setup)

Как и при формировании ООФУ, добиваются, чтобы центр перекрестия 5 при перемещении его вдоль рельса совпадал с центром пятна, создаваемого на перекрестии пучка 3 юстировочного лазера 2.

После завершения формирования ВООФУ ЦВК 9 также подключают к ПК. Используя приемы, применяемые при юстировке ЦВК 10, центрируют ЦВК 9 относительно ВООФУ, симметрируют ее поле зрения относительно этой оси, а также выставляют виртуальное перекрестие этой камеры по нити отвеса (рисунок 3*b*).

После установки светоизмерительной лампы в зону пересечения ООФУ и ВООФУ камеры 9 и 10 позволяют в реальном режиме времени наблюдать за процессом юстировки ТН лампы по координатам X , Y и Z (рисунок 1) относительно ООФУ и ВООФУ фотометрической установки. Поскольку наблюдение за изображением ТН лампы относительно виртуальных перекрестий камер 10 и 9 осуществляется одновременно на мониторе ПК, это позволяет быстро и точно устанавливать ТН лампы в необходимое положение.

Работоспособность представленного устройства проверена при юстировке ТН светоизмерительной лампы силы света СИС-500, отцентрированной относительно ООФУ в соответствии с требованиями [2] (рисунок 4). При реализации описанного устройства юстировки ТН светоизмерительных ламп в качестве ЦВК использованы веб-камеры Genius iSlim 1300 V2. Различие в размерах изображения ТН лампы на снимках (рисунок 4)

вызвано применением объектива HELIUS-44-2 вместо исходного объектива ЦВК 9 при юстировке положения ТН лампы в направлении ВООФУ (рисунок 4*b*). Кроме того, использование подобного объектива упрощает процедуру симметрирования поля зрения камеры относительно направления наблюдения, так как радиус кривизны его входной линзы существенно больше радиуса кривизны линз, использующихся в бытовых веб-камерах. Это позволяет обходиться без дополнительных плоскопараллельных насадок на объектив веб-камеры, а использовать отражение лазерного пучка в обратном направлении непосредственно от поверхности входной линзы такого объектива.

Предложенный способ юстировки ТН светоизмерительных ламп защищен патентами Республики Беларусь [8] и Российской Федерации [9], а устройство юстировки используется в Национальном эталоне единиц силы света и освещенности Республики Беларусь.

Заключение

Представлен способ и устройство юстировки источников излучения при фотометрических измерениях с помощью цифровых камер, позволяющие сократить время юстировки светоизмерительных ламп и других источников излучения на фотометрической скамье не менее чем в 2–4 раза в зависимости от типа светоизмерительной лампы (или источников излучения). Устройство запатентовано

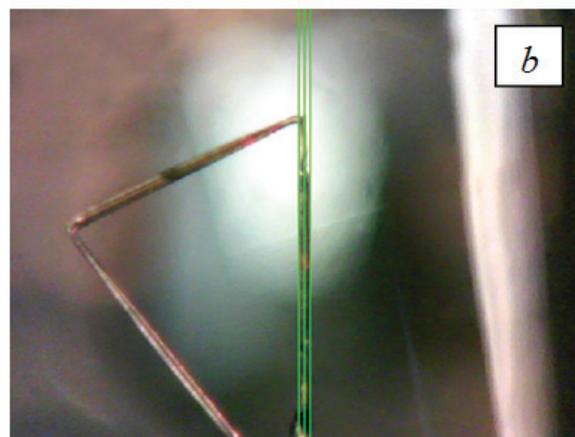
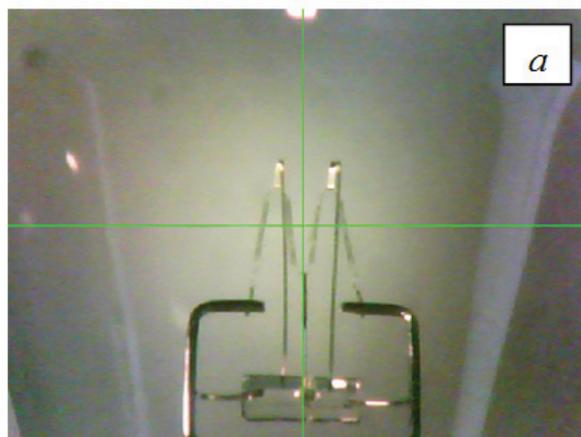


Рисунок 4 – Изображения тела накала светоизмерительной лампы силы света СИС-500, отъюстированной относительно оптической оси фотометрической установки: *a* – вид тела накала вдоль оптической оси фотометрической установки с камеры 10; *b* – вид тела накала под углом 90° к оптической оси фотометрической установки с камеры 9

Figure 4 – Images of the filament of photometric lamp SIS-500 aligned on the optical axis of the photometric setup: *a* – view of the filament from camera 10 along the optical axis of the photometric setup; *b* – view of the filament at 90° angle to the optical axis of the photometric setup from camera 9

в Республике Беларусь, Российской Федерации и используется в Национальном эталоне единиц силы света и освещенности Республики Беларусь.

Список использованных источников

1. Handbook of Applied Photometry / ed. C. DeCusatis. – N.Y. : AIP Press, 1998. – 463 p.
2. Köhler, R. Final Report on the International Comparison of Luminous Responsivity CCPR-K3.b / R. Köhler, M. Stock, C. Garreau // Metrologia. Tech. Suppl. – 2004. – Vol. 41. – P. 02001.
3. Mamedbeyli, I. Transfer of Photometric Quantities at Arbitrary Distribution Temperatures / I. Mamedbeyli, Z. Ürey, A.K. Türkoğlu // Tr. J. of Physics. – 1998. – Vol. 22. – P. 841–850.
4. Ohno, Y. NIST measurement services: Photometric calibrations. / Y. Ohno // NIST Special Publication 250-37. – Washington, U.S. Government Printing Office. – 1997. – 85 p.
5. Yoon, H.W. NIST measurement services: Spectral Irradiance Calibrations / H.W. Yoon, C.E. Gibson // NIST Special Publication 250-89. – Gaithersburg, NIST printing

and duplication office. – 2011. – 132 p.

6. Лысенко, О.Н. Модернизация эталона единиц силы света и освещенности. Разработка и изготовление колориметрического блока / О.Н. Лысенко [и др.] // Метрология и приборостроение. – 2011. – № 1. – С. 12–15.

7. Длугунович, В.А. Измерение освещенности в диапазоне от 0,001 до 1,000 лк / В.А. Длугунович, С.В. Никоненко, О.Б. Тарасова // Приборы и методы измерений. – 2013. – № 1(6). – С. 121–125.

8.. Патент ВУ 6923 от 10.01.2010 на полезную модель «Устройство юстировки тела накала светоизмерительной лампы». Заявители – Институт физики НАН Беларуси, БелГИМ. Авторы – В.А. Длугунович, В.А. Ждановский, С.В.Никоненко (Институт физики НАН Беларуси), О.Б.Тарасова (БелГИМ).

9. Патент RU 101849 от 27.01.2011 на полезную модель «Устройство юстировки тела накала светоизмерительной лампы». Заявители – Институт физики НАН Беларуси, БелГИМ. Авторы – В.А. Длугунович, В.А. Ждановский, С.В. Никоненко (Институт физики НАН Беларуси), О.Б. Тарасова (БелГИМ).

The apparatus for alignment of the photometric lamp filament

Dlugunovich V.A.¹, Zhdanovskii V.A.¹, Liplianin A.A.¹, Nikanenka S.V.¹, Tarasova O.B.²

¹*Institute of Physics of the National Academy of Science of Belarus,
Nezavisimosti Ave., 68, 220072, Minsk, Belarus*

²*Belorussian State Institute of Metrology,
220053, Starovilenskii Tr., 93, Minsk, Belarus*

Received 29.09.2014

Accepted for publication 27.10.2015

Abstract. During photometric measurements involving the use of photometric lamps it is necessary that the filament of lamp takes a strictly predetermined position with respect to the photodetector and the optical axis of the photometric setup. The errors in positioning of alignment filament with respect to the optical axis of the measuring system lead to increase the uncertainty of measurement of the photometric characteristics of the light sources. A typical method for alignment of filament of photometric lamps is based on the use a diopter tubes (telescopes). Using this method, the mounting of filament to the required position is carried out by successive approximations, which requires special concentration and a lot of time. The aim of this work is to develop an apparatus for alignment which allows simultaneous alignment of the filament of lamps in two mutually perpendicular planes. The method and apparatus for alignment of the photometric lamp filament during measurements of the photometric characteristics of light sources based on two digital video cameras is described in this paper. The apparatus allows to simultaneously displaying the image of lamps filament on the computer screen in two mutually perpendicular planes. The apparatus eliminates a large number of functional units requiring elementwise alignment and reduces the time required to carry out the alignment. The apparatus also provides the imaging of lamps filament with opaque coated on the bulb. The apparatus is used at the National standard of light intensity and illuminance units of the Republic of Belarus.

Keywords: alignment, filament, photometric lamp.

Адрес для переписки:

Никоненко С.В.
Институт физики НАН Беларуси,
пр. Независимости, 68, 220072, г. Минск, Беларусь
e-mail: s.nikonenko@dragon.bas-net.by

Address for correspondence:

Nikanenka S.V.
Institute of Physics of the National Academy of Science of Belarus,
Nezavisimosti Ave., 220072, 68, Minsk, Belarus
e-mail: s.nikonenko@dragon.bas-net.by

Для цитирования:

Длугунович В.А., Ждановский В.А., Липлянин А.А., Никоненко С.В.,
Тарасова О.Б.
Устройство юстировки тела накала светоизмерительных ламп
Приборы и методы измерений
2015. – Т. 6, № 2. – С. 148–155

For citation:

Dlugunovich V.A., Zhdanovskii V.A., Liplianin A.A., Nikanenka S.V.,
Tarasova O.B.
The apparatus for alignment of the photometric lamp filament
Devices and Methods of Measurements
2015, vol. 6, No. 2, pp. 148–155

References

1. Handbook of Applied Photometry / ed. C. DeCusatis. N.Y.: AIP Press, 1998, 463 p.
2. Köhler R., Stock M., Garreau C. Final Report on the International Comparison of Luminous Responsivity CCPR-K3.b. Metrologia. Tech. Suppl., 2004, vol. 41, pp. 02001.
3. Mamedbeyli I., Ürey Z., Türkoğlu A.K. Transfer of Photometric Quantities at Arbitrary Distribution Temperatures. Tr. J. of Physics, 1998, vol. 22, pp. 841–850.
4. Ohno Y. NIST measurement services: Photometric calibrations. NIST Special Publication 250-37, Washington, U.S. Government Printing Office, 1997, 85 p.
5. Yoon H.W., Gibson C.E. NIST measurement services: Spectral Irradiance Calibrations. NIST Special Publication 250-89, Gaithersburg, NIST printing and duplication office, 2011, 132 p.
6. Lysenok V.N., Nikanenka S.V., Scums D.V., Tarasova O.B. Hayrova N.V. Upgrading the standard unit of luminous intensity and irradiance. Development and production of the colorimetric block. Metrologiya i priborostroyeniye, 2011, no. 1, pp. 12–15 (in Russian).
7. Dlugunovich V.A., Nikanenka S.V., Tarasova O.B. Illuminance measurement in the range from 0,001 to 1,000 lx. Devices and Methods of Measurements, 2013, no 1(6), pp. 121–125.
8. Dlugunovich V.A., Zhdanovskii V.A., Nikanenka S.V., Tarasova O.B. Ustrojstvo yustirovki tela nakala svetoizmeritelnoj lampy [The apparatus for alignment of the photometric lamp filament]. Patent BY, no. 6923, 2010.
9. Dlugunovich V.A., Zhdanovskii V.A., Nikanenka S.V., Tarasova O.B. Ustrojstvo yustirovki tela nakala svetoizmeritelnoj lampy [The apparatus for alignment of the photometric lamp filament]. Patent RF, no. 101849, 2011.