

УДК 520.2; 523.44

Использование светодиодов в астрофотометрии и спектрофотометрии в качестве калиброванных источников света

А.Н. Абраменко, А.В. Таран

Крымская Астрофизическая Обсерватория, 98409, Украина, Крым, Научный

Поступила в редакцию 1 июня 2003 г.

Аннотация. Светодиоды АЛ102В применяются в НИИ Крымская астрофизическая обсерватория в качестве калиброванного по яркости осветителя звездного теста в течении 25 лет. Зависимости яркости светодиодов от проходящего через них тока и других параметров были исследованы в условиях постоянства их температуры ($1 - 2^\circ\text{C}$). Полученные данные показывают, что излучение осветителя, имеющего 20 светодиодов АЛ102В, в области длин волн 570 нм стабильно с точностью до 1% как в малых, так и в больших промежутках времени и может быть воспроизведено с такой же точностью. Сделан вывод, что изображения искусственных звезд могут быть использованы в качестве фотометрических стандартов при температурной стабилизации светодиодов осветителя звездного теста. Яркость таких стандартов может быть установлена в пределах изменения их блеска на 8^m5 и контролироваться с точностью до $1 - 2\%$. Было показано, что выпускаемые сейчас в России светодиоды зеленого свечения У118В, У132В по своим фотометрическим параметрам превосходят светодиоды АЛ102В. Исследования некоторых светодиодов России и США с максимумом излучения в синей области спектра показало, что они непригодны для использования в качестве фотометрических стандартов.

USING THE LIGHTDIODES IN ASTROPHOTOMETRY AND SPECTROPHOTOMETRY AS CALIBRATE SOURCES OF THE LIGHT, *by A.A. Abramenko, A.V. Taran.* Lightdiodes of АЛ102В type are used at the Crimean Observatory as a intensity calibrated light source of artificial stellar images during 25 years. Brightness dependences on current and others parameters were investigated of various lightdiodes under there temperature variation less than $1 - 2^\circ\text{C}$. Obtained data demonstrate that emission in the region 570 nm of the device having 20 lightdiodes АЛ102В is stable with the 1% accuracy during small and long time intervals and may be reproduced with the same accuracy. The result is that artificial stellar images may be used as photometric standards under condition of temperature stabilization of lightdiodes used for illumination of stellar test. Brightnesses of such standards may be set as needed in the range of their light variation up to 8^m5 and controlled with accuracy of $1 - 2\%$. It was shown that green lightdiodes У118В, У132В fabricated now in Russia have better photometrical parameters than lightdiodes АЛ102В. Investigation of some blue lightdiodes manufactured now in Russia and USA shows that such lightdiodes are not suitable as potometrical standards.

Ключевые слова: светодиод, фотометрия, стандарт

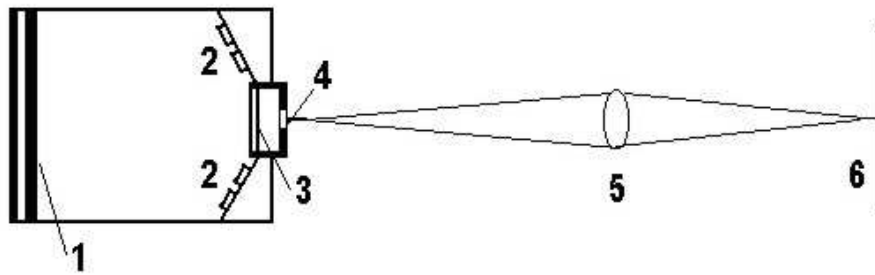


Рис. 1. Схема осветителя и проектора звездного теста. Цифрами обозначены: 1 – рассеивающий экран, 2 – светодиоды, 3 – светофильтр, 4 – звездный тест, 5 – линза, 6 – светочувствительная поверхность приемника света

1 Введение

В практике телевизионных наблюдений в НИИ КраО светодиоды используются в качестве калиброванных источников света с 1978 года (Абраменко и др., 1984, 1985). Они успешно применяются при фотометрических и спектрофотометрических наблюдениях звезд, астероидов и других небесных объектов. В течение 7 лет их абсолютная калибровка, сделанная по звездам-стандартам, сохранялась постоянной с точностью около 1% при небольших сезонных изменениях (Прокофьева и др., 1993). Для калибровки излучения наблюдаемых объектов был изготовлен специальный осветитель, звездный тест и проектор изображения теста на фотокатод приемника света (см. рис. 1). Звездный тест (указан цифрой 4 на рис. 1) представляет собой тонкую пластинку с высверленными в ней 14 отверстиями диаметром 0.15 мм. Размер теста 10 мм. Отверстия в тесте закрыты пленками, имеющими разную прозрачность, так, чтобы блеск самой слабой и самой яркой искусственной звезды отличались бы примерно на две звездные величины. Для освещения белого экрана (цифра 1 на рис. 1) использовано 20 фосфидогалиевых светодиодов типа АЛ 102В (цифра 2 на рис. 1), специально отобранных по близости их параметров (Абраменко, 1981). Светофильтр 3 пропускает зеленое свечение светодиодов (максимум на длине волны 570 нм) и обрезает небольшое по величине свечение в ближней инфракрасной области на длине волны около 750 нм.

Звездный тест проектируется на фотокатод передающей телевизионной трубки с уменьшением в полтора раза, чтобы обеспечить равенство диаметров изображений проектируемых звезд теста и среднего изображения турбулентного диска наблюдаемых звезд при среднем качестве изображений около трех угловых секунд дуги на телескопе МТМ-500 (светосила 1/13). Изображение теста проектируется на фотокатод телевизионной передающей трубки одновременно с наблюдаемым объектом. Это дает возможность строить калибровочный график (зависимость звездная величина-сигнал), а также, после предварительной калибровки изображения искусственных звезд по звездам-стандартам, использовать звездный тест для оценки блеска наблюдаемых объектов (Абраменко и др., 1984). Обычно диапазон блеска наблюдаемых звезд довольно велик. Чтобы иметь возможность вести калибровку в широком диапазоне звездных величин, была исследована зависимость яркости изображений искусственных звезд от тока светодиодов. Она показала, что их яркость меняется в пределах 50000 раз при изменении тока от 10 мкА до 20 мА.

Возможность изменения яркости звездного теста в широких пределах является существенным преимуществом перед радиолюминесцентными источниками (РЛИ), применяемыми в электрофотометрах. Использование звездного теста в течении 25 лет показало, что его временная стабильность весьма высока – за это время яркость светодиодов при одном и том же токе и температуре изменилась мало.

В настоящее время изображения искусственных звезд используются для энергетической привязки спектральных наблюдений астероидов (Бочков и др., 2003). Для этого при каждой записи спектра астероида и звезды – спектрофотометрического стандарта регистрируются также и изоб-

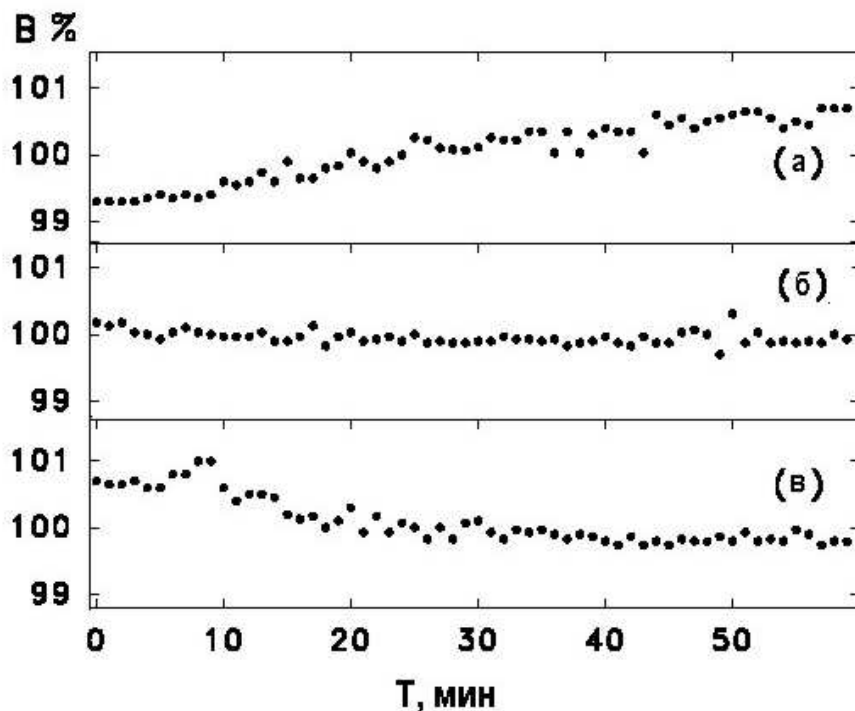


Рис. 2. Исследование стабильности яркости излучения проектора теста во времени в интервалы одного часа. Буквами а, б, в обозначены последовательности измерений при токах 100 мкА, 1 мА и 10 мА соответственно. По шкале абсцисс отложено время T в минутах, по шкале ординат – яркость B в процентах от среднего значения яркости при заданном токе

ражения звезд теста, которые предварительно калибруются по специальным наблюдениям звезд – спектрофотометрических стандартов.

Основным преимуществом светодиодов перед лампами накаливания является постоянство положения спектрального максимума излучения во всем диапазоне изменения их яркости, а также относительно слабая зависимость яркости от тока, проходящего через светодиоды. Эта зависимость описывается формулой

$$B_{n+1}/B_n = (J_{n+1}/J_n)^K,$$

где J_n и J_{n+1} – заданные величины токов через светодиоды, а B_n и B_{n+1} – соответствующие этим токам яркости их свечения. Проведенные лабораторные измерения показали, что показатель степени K равен 1.42 ± 0.08 . Интересно отметить, что для лампочки накаливания (3.5 В, 0.26 А) при изменении тока от 0.17 А до 0.26 А яркость, измеряемая через светофильтр СЗС-22, меняется в 10^6 раз.

Исследования звездного теста при его использовании в качестве искусственного фотометрического стандарта описаны в публикациях Абраменко А.Н. и др. (1985), Прокофьева В.В. и др. (1993).

Следует отметить, что на базе описанного выше теста с осветителем на светодиодах АЛ102В, нами был изготовлен малогабаритный прибор, представляющий собой проектор звездного теста. Он был прокалиброван по звездам для определения зависимости яркости искусственных звезд (в звездных величинах) от тока через светодиоды для телескопа с диаметром зеркала 500 мм. Прибор позволяет с точностью до 20% определять пороговую чувствительность любого приемника света в зеленой области спектра.

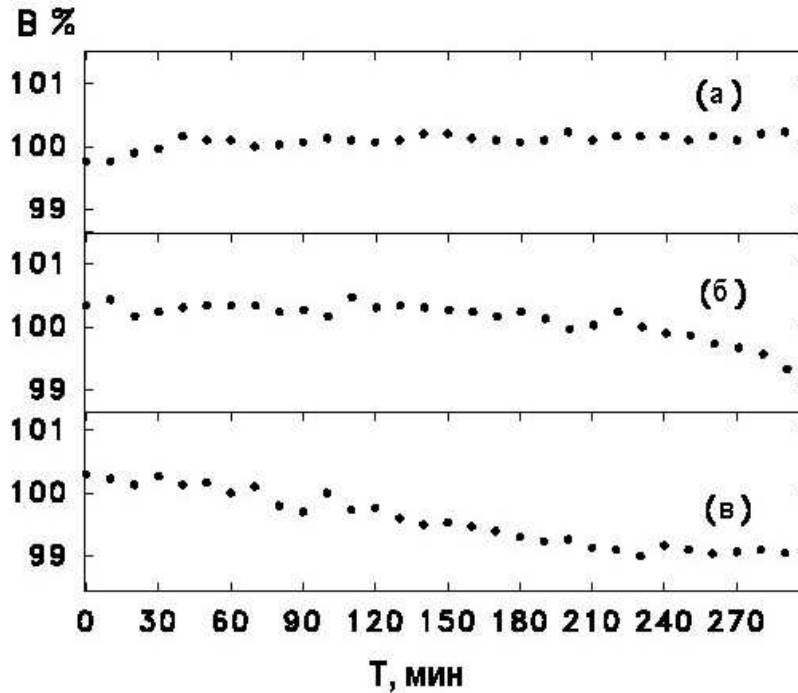


Рис. 3. Исследование стабильности яркости излучения проектора теста в интервале 5 часов. Обозначения на графиках те же, что на рис. 2

2 Результаты лабораторных исследований ряда светодиодов

В связи с возросшими требованиями к точности искусственного фотометрического стандарта, нами проведены исследования следующих характеристик различных типов светодиодов: стабильности их излучения во времени, постоянства излучения при заданном токе, температурной зависимости излучения, стабильности положения спектрального максимума и некоторых других.

1. Стабильность излучения осветителя звездного теста, работающего на светодиодах АЛ102В, проверялась с помощью ФЭУ-79 в течение часа путем измерения сигнала с ФЭУ через каждую минуту при трех значениях тока через светодиоды: 100 мкА, 1 мА, и 10 мА. Результаты представлены на рис. 2. Медленные изменения яркости, видимо, связаны с недостаточной стабильностью источников питания светодиодов и ФЭУ. Сделан вывод, что колебания яркости более, чем 1% не обнаружены.

Такие же измерения, проводившиеся каждые 10 минут в течение 5 часов (см. рис. 3), дали аналогичный результат и показали, что стабильность излучения осветителя теста на протяжении нескольких часов такая же: колебания яркости не превышают 1%.

2. Температурная зависимость яркости осветителя теста на светодиодах АЛ102В была исследована с помощью специальной морозильной камеры, обеспечивающей заданную температуру путем прокачки сухого холодного воздуха. Температура устанавливалась за час до начала измерений и поддерживалась постоянной в процессе всего эксперимента. Фотометр с ФЭУ находился снаружи камеры и свет на него поступал через стекло с электропроводящим слоем, обеспечивающим его подогрев. Результаты исследований в диапазоне температур от $+20^{\circ}\text{C}$ до -20°C приведены на рис. 4. Из рисунка видно, что при разных токах через светодиоды влияние температуры на яркость излучения различна. Приведенные графики зависимости яркости осветителя теста от температуры относятся к светодиодам АЛ102В более раннего выпуска (диаметр корпуса 4 мм). Исследования

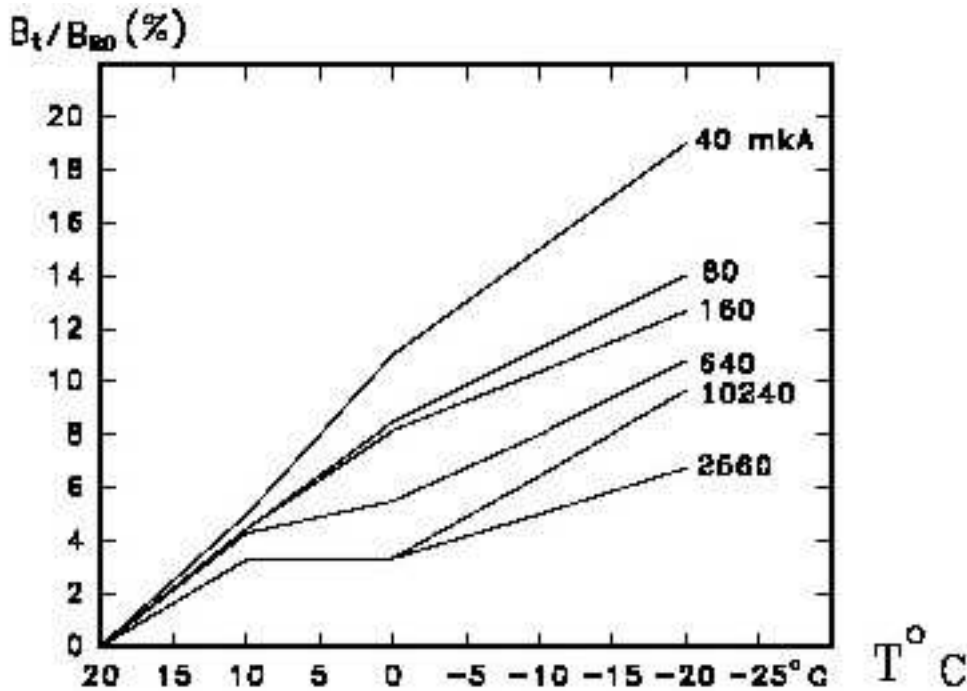


Рис. 4. Зависимость яркости осветителя звездного теста от температуры для разных токов через светодиоды АЛ102В. По вертикали отложено отношение яркости осветителя при данной температуре к яркости при температуре $+20^{\circ}\text{C}$ (в процентах), по горизонтали – температура осветителя

показали, что использование более поздних модификаций этого типа светодиодов (диаметр корпуса 5 мм), дает худшие результаты. На основании экспериментов сделан вывод, что для реализации высокой точности калибровки яркости необходима температурная стабилизация светодиодов. Для этой цели был разработан и изготовлен малогабаритный термостат, который поддерживает температуру светодиодов постоянной на уровне $+25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ при изменении внешней температуры от $+20^{\circ}\text{C}$ до -15°C . Следует отметить, что при токе светодиодов 10 мА и больше начинает сказываться их самопрогрев, уменьшающий яркость свечения на несколько процентов, причем яркость уменьшается тем больше, чем больше ток. Мощность, выделяемая на светодиоде в этом диапазоне токов, составляет 25 – 50 мВт. Поэтому все измерения яркости свечения при этих токах велись через 10 – 15 мин после включения.

3. Кроме постоянства свечения осветителя звездного теста во времени, для использования последнего в качестве фотометрического стандарта при наблюдениях звезд различного блеска необходимо было провести измерения показателя степени К (в приведенной выше формуле) при разных токах светодиодов. Полученные зависимости показателя степени К от тока для осветителя на светодиодах АЛ102В разных модификаций приведены на рис. 5. Из графиков видно, что постоянство степени К для светодиодов, имеющих диаметр корпуса 4 мм, соблюдается в наибольшем диапазоне изменений тока. Если принять за рабочий диапазон 5^m , то внутри него значения К постоянно с точностью 1% в диапазоне изменения токов от 380 мкА до 10 мА.

4. Проведена проверка постоянства положения максимума спектра излучения светодиодов АЛ102В, который приходится на длину волны 570 нм с полушириной 50 нм. Для этого были определены зависимости яркости его свечения от тока при использовании светофильтра СЗС-21, а затем – светофильтра СЗС-23. Так как максимум спектра излучения светодиодов АЛ102В приходится на спад кривой пропускания светофильтра СЗС21, при сдвиге максимума спектра отношения яркостей

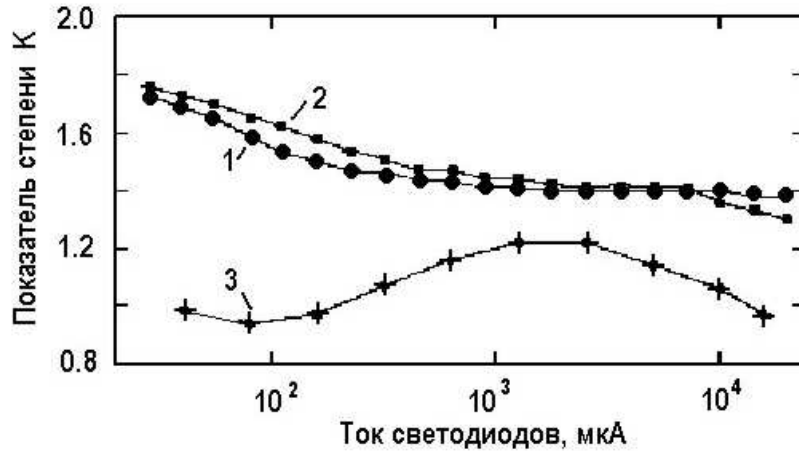


Рис. 5. Зависимость показателя степени K от тока светодиодов. Кривая 1 соответствует светодиодам АЛ102В с диаметром корпуса 4 мм, кривая 2 – их модификация. Кривая 3 показывает зависимость K от тока для излучения этих светодиодов в ближней инфракрасной области спектра

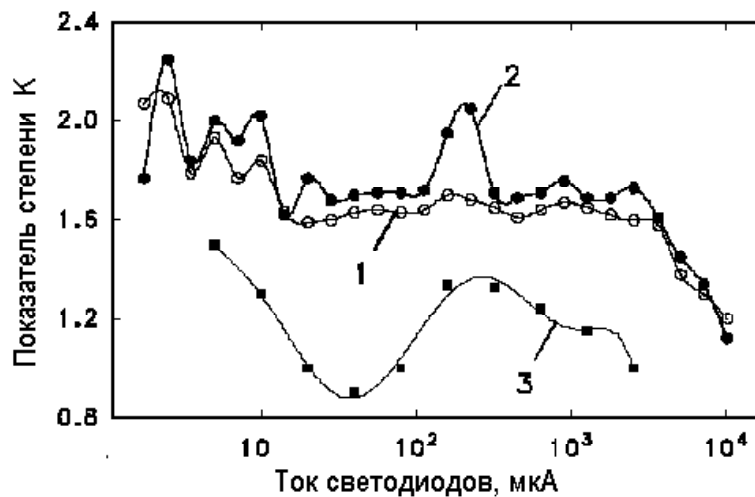


Рис. 6. Зависимость показателя степени K от тока для светодиодов U118В и U132В. Кривая 1 – среднее для 10 произвольно выбранных светодиодов; кривая 2 – для одного из них; кривая 3 – усредненные данные для ближней инфракрасной области спектра

через фильтры СЗС21 и СЗС23 будут разными. Однако измерения показали, что они неизменны в пределах изменения токов светодиодов от 20 мкА до 20 мА, что свидетельствует об отсутствии заметного сдвига положения максимума излучения по шкале длин волн.

5. Исследования интенсивности излучения осветителя теста на светодиодах АЛ102В в ближней инфракрасной области спектра с максимумом на 750 нм показали, что при малых токах оно существенно превышает интенсивность излучения в зеленой области (570 нм), а при токах больше 1 мА оно значительно уступает ему. Диапазон изменений яркости здесь существенно меньше. Зависимость показателя степени K от тока для этой области спектра показана кривой 3 на рис. 5. Следует отметить, что наличие излучения в этой области спектра может быть использовано для калибровки светоприемников в ближней инфракрасной области спектра (например, ПЗС матриц).

6. Проведены исследования зависимости яркости от тока светодиодов U118В и U132В, выпуска-

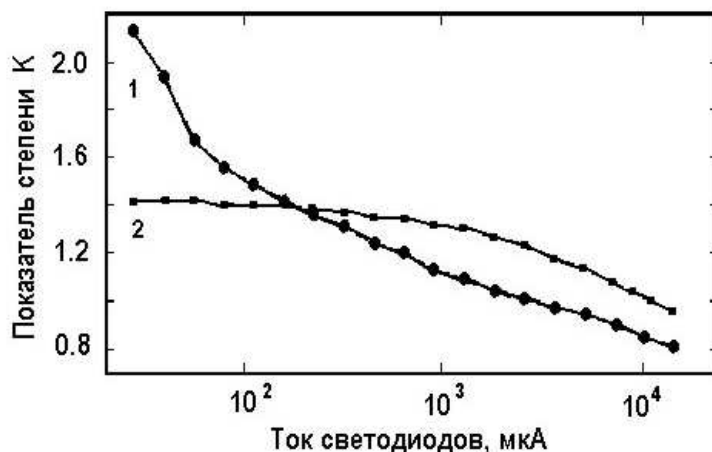


Рис. 7. Зависимость показателя степени К от тока для светодиодов U118И (кривая 1) и DC3803X (кривая 2)

Таблица 1. Длины волн свечения разных светодиодов и усредненное значение параметров изменения их яркости

Тип светодиода	Страна	Длина волны	Диапазон	Изменение
		максимума излучения	изменения яркости	показателя степени
		нм	V _{max} /V _{min}	K _{max} /K ₀ ,%
АЛ102В	СССР	570	2800	20
U118В, U132В	Россия	565	6000	09
U118И	Россия	526	800	136
U118Т	Россия	505	1200	150
MV8G-03	США	502	145	90
DC3803x	США	502	1200	40
DC5306x	США	502	300	27

емых в настоящее время в России Научно-производственным центром оптико-электронных приборов “Оптел” (диаметры светодиодов 5 мм и 3 мм соответственно, свечение зеленое с максимумом на длине волны 565 нм). Яркость их оценивалась по реакции фотометра при установке этих светодиодов на расстоянии 150 мм от фотокатода ФЭУ. Оказалось, что светодиоды U118В и U132В превосходят по яркости светодиоды АЛ102В (при тех же токах) примерно в 100 – 200 раз (в зависимости от экземпляра), в основном, видимо, за счет более узкой диаграммы направленности излучения. При этом падение напряжения на них несколько меньше чем на АЛ102В (2.5 В и 4.5 В соответственно при токе 20 мА).

На рис. 6 приведены значения зависимости показателя степени К для зеленой и инфракрасной областей спектра излучения этих светодиодов. Из кривой 1 рис. 6 видно, что квазипостоянное значение показателя степени К (1.64 ± 0.07) для этих светодиодов соблюдается при значительно больших изменениях тока – от 15 мкА до 2500 мкА, что соответствует изменению яркости в 4500 раз. При соответствующем отборе этих светодиодов, видимо, можно существенно улучшить постоянство показателя степени К в этом диапазоне токов. Из рисунка также следует, что при изменении тока светодиодов от 1.25 мкА до 10000 мкА яркость светодиодов в зеленой области спектра изменяется в 2.5×10^6 раз. Стабильность излучения светодиодов U118В и U132В, их температурная зависимость и излучение в ближней инфракрасной области спектра (рис.6 кривая 3) примерно такие же, как у

светодиодов АЛ102В.

Таким образом светодиоды У118В и У132В по своим параметрам, показывающим возможность их использования в качестве фотометрического стандарта, значительно превосходят светодиоды АЛ102В. Правда, изменение их параметров при длительной эксплуатации нами не исследовалось.

7. Проведены исследования некоторых типов светодиодов с максимумов излучения в синей области спектра (502 – 526 нм) выпускаемых в США и в России (MV8G-03, DC3803x, DC5306x и У118И, У118Т).

Свечение этих светодиодов в сотни и тысячи раз больше, чем АЛ102В, так что для снижения их яркости пришлось использовать соответствующие серые светофильтры. Зависимости показателя степени К от тока для этих светодиодов показано на рис. 7. Характерным для них является значительно большие, чем для светодиодов АЛ102В, изменение показателя степени К в зависимости от тока. Это делает светодиоды с излучением в синей области спектра непригодными для их использования в качестве фотометрических стандартов.

3 Выводы

Сравнительные характеристики различных типов светодиодов при изменении проходящего через них тока от 40 мкА до 10 мА (для светодиодов У118В и У132 – от 15 мкА до 3 мА) приведены в таблице. Из таблицы видно, что для использования светодиодов в качестве фотометрических стандартов подходят только АЛ102В, У118В и У118В. Из проведенных экспериментов следует, что звездный тест с осветителем на светодиодах АЛ102В может быть использован в качестве фотометрического стандарта в диапазоне изменения яркости искусственных звезд в 100 раз при постоянном значении (с точностью до 1%) показателя степени К. Общий диапазон яркости, перекрываемый при изменении тока осветителя от 10 мкА до 10 мА, составляет около 20000. Яркость искусственных звезд может быть установлена и поддерживаться постоянной с точностью до 1 – 2% при условии температурной стабилизации светодиодов осветителя теста. Использование светодиодов У118В и У132В даст возможность значительно расширить диапазон яркости искусственных звезд.

В заключении авторы выражают глубокую благодарность В.В. Прокофьевой Л.Г. Карачкиной и В.В. Бочкову за советы и помощь при оформлении рукописи.

Литература

- Абраменко А.Н. // Астрон. Циркуляр. 1981. N. 1153. С. 4.
Абраменко А.Н., Агапов Е.С., Анисомов В.Ф. и др. // Телевизионная астрономия. / ред. В.Б. Никонов. М.: Наука. 1984. С. 373.
Абраменко А.Н., Медведев А.Г., Павленко Е.П., Прокофьева В.В. // Новая техника в астрономии. Л.: Наука. 1984. С. 54.
Абраменко А.Н., Павленко Е.П., Прокофьева В.В. // Фотометрические и поляриметрические исследования небесных тел. Киев. Наукова думка. 1985. С. 184.
Бочков В.В., Прокофьева В.В., Абраменко А.Н. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2003. Т. 98. (в печати).
Прокофьева В.В., Бочков В.В., Павленко Е.П. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1993. Т. 88. С. 110.