

УДК: 535.241.42

## АНАЛИЗ ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИБОРОВ ДЛЯ ПОВЕРКИ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ СИЛЫ СВЕТА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

**А.Д. Купко**, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник ННЦ “Институт метрологии”, г. Харьков  
**В.В. Терещенко**, инженер ННЦ “Институт метрологии”, г. Харьков



А.Д. Купко



В.В. Терещенко

*Представлены результаты экспериментальных исследований средств, предназначенных для проведения периодической поверки и калибровки измерителей силы света и исследования светотехнических характеристик фар транспортных средств. Приводится анализ погрешностей, возникающих при измерении силы света, и пути их устранения или коррекции. Проведен сравнительный анализ эталонного телецентрического осветителя ЭТО-2 и стенда, разработанного ННЦ “Институт метрологии”.*

*The results of experimental researches of means intended for the periodic inspection and calibration of measuring instruments and research intensity lighting characteristics headlights of vehicles. The paper provides an analysis of the errors arising in the measurement of light intensity and ways of their elimination or correction. Compared are the reference telecentric illuminator RTI-2 and the subjected stand NSC “Institute of Metrology”.*

### Введение

На сегодняшний день все мировое сообщество уделяет большое внимание усовершенствованию существующей и созданию новой измерительной техники. Особое место в этом развитии занимают метрологическое обеспечение измерений, создание современной эталонной базы и соблюдение требований нормативно-правовых документов. Для полноправного выхода на международный рынок Украине необходимо соблюдение стандартов международного уровня [1–6]. Одним из направлений, требующих особого внимания, является дорожно-

транспортная система страны. В связи с этим на основании работ, проведенных в этом направлении [6–10], есть необходимость дополнительных, более углубленных исследований измерительной техники и имитаторов фар транспортных средств.

В рамках расширения эталона силы света в Национальном научном центре “Институт метрологии” были проведены работы по созданию метрологического стенда [9], предназначенного для проведения периодической поверки и калибровки измерителей силы света транспортных средств типа ТЕНЗОР–26М, и измерению светотехнических характеристик фар дальнего и ближнего света. В работах [9, 11] представлены результаты экспериментального исследования, посвященного сравнению характеристик работы приборов, разработанных ННЦ “Институт метрологии” и научно-производственной фирмой “МЕТА”, Россия (эталонный телецентрический осветитель ЭТО-2) [11, 12]. Проведенный сравнительный анализ работы стенда [9] и ЭТО-2 [11] позволил сделать выводы об особенностях работы приборов и сформировать сводную таблицу погрешности измерения силы света автотранспортных средств.

Целью исследования является дальнейший анализ методики проведения измерений силы света внешних световых приборов транспортных средств. Необходимо провести анализ принципиальной оптической схемы приборов, применяемых при соответствующих измерениях, исследовать особенности принципа действия, а также оценить возникающие погрешности измерения основной величины – силы света.

### Теоретическое описание измерений

В данной работе проводится сравнительный анализ методики и принципов работы приборов, предназначенных для проведения поверки и калибровки измерителей силы света. Основываясь на одной и той же модели реализации измерений единицы силы света, они имеют конструктивные различия. Стенд, разработанный ННЦ “Институт метрологии” [9], основан на полной имитации фары транспортного средства с применением

высокоточного цифрового фотометра. При помощи стенда были определены, проанализированы и скорректированы погрешности, возникающие при проведении измерений и недоступные при обычных исследованиях. Эталонный телецентрический осветитель [11, 12] основан на замещении автомобильной фары исследованным и известным источником излучения, близким по характеристикам к источнику типа А. Применение этого прибора позволяет проводить измерения на высоком уровне со стабильными характеристиками. Однако из-за несовершенства отражательно-линзовой системы его применение ограничивается требованиями руководства эксплуатации.

Измерение силы света в заданном направлении основывается на двух методах [13–15]: светомерной скамьи и телецентрическом.

При методе светомерной скамьи измерение силы света осуществляется через освещенность на удаленных расстояниях  $l$  от источника с применением закона квадратов расстояния. Прибор, основанный на этом методе, называется фотометрической (светомерной) скамьей, в основе которой лежат фотометры или люксметры. Сила света определяется по формуле

$$I = l^2 \cdot E,$$

где  $I$  – сила света в заданном направлении;  $E$  – освещенность;  $l$  – расстояние от источника до приемника.

Метод светомерной скамьи справедлив для точечных источников оптического излучения.

Телецентрический метод измерения силы света осуществляется через освещенность на малых расстояниях путем регистрации лучей заданного направления с установленным допуском в пределах телесного угла  $\Delta\omega$ . Измерение силы света данным методом заключается в том, что оптическая система с большим световым отверстием охватывает световые лучи заданного направления (в пределах телесного угла  $\Delta\omega$ ) от всех элементов светящего тела. Диафрагма  $D$  в задней фокальной плоскости оптической системы пропускает от каждого светящего элемента всего источника световой поток в пределах  $\Delta\omega$ . Расчеты проводятся по формуле

$$\Phi_x = \frac{I_x \tau \Delta S'}{f^2},$$

где  $I_x$  – сила света источника;  $\tau$  – коэффициент пропускания оптической системы;  $f$  – фокусное расстояние оптической системы;  $\Delta S'$  – площадь диафрагмы  $D$ .

В этой системе применяется линза, имеющая одинаковые значения коэффициента пропускания во всех точках, для обеспечения равномерного прохождения света. Светящее тело можно перемещать вдоль оси, пока оптическая система улавливает все лучи в заданном телесном угле, что позволяет корректировать оптическое излучение.

### Принцип действия приборов

Данная работа основана на анализе принципов работы, особенностей конструкции и возникающих погрешностей. Измерения проводились с учетом требований нормативных документов [1–6] к соответствующим измерениям силы света на транспорте и основывались на фундаментальной теоретической базе [13].

В работе [9] описана реализация стенда, разработанного в ННЦ “Институт метрологии” (рис. 1). Стенд выполнен в светоизолированном помещении длиной 24 м, что позволяло проводить исследования и измерения на больших расстояниях. Такая особенность давала возможность более точно оценить влияние погрешностей, возникающих при измерении силы света, кроме того, это приближало к необходимым теоретическим требованиям проведения измерения силы света на максимально удаленном расстоянии.

На рис. 1 представлены основные элементы стенда. Стенд [9] основан на принципе имитации реальной фары транспортного средства. В качестве источника оптического излучения использовались лампы 1 различных моделей, применяемые на транспорте и установленные в отражатель из автофары. Оптическое излучение проходило через выходное отверстие отражателя с рассеивателем 2. Далее оно поступало на головку приемного устройства 5, которая находится на штативе с возможностью регулировки. Приемником оптического излучения служил ТЕС 0693. Для получения пространственного

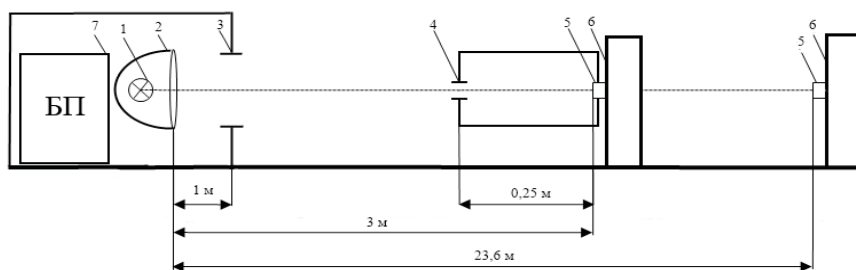


Рис. 1. Схема стенда

распределения освещенности за приемной головкой располагался экран 6 с разметкой. Конструкция стенда предусматривала необходимость постоянного перемещения экрана по всей длине стенда. Источник оптического излучения находился в защитном кожухе с диафрагмой 3. В качестве источника питания для стенда применялся высокостабилизированный блок питания 7, позволявший воспроизводить результаты измерения силы света фары.

Разработанный стенд [9] позволил оценить погрешности, возникающие при измерении силы света фар транспортного средства. Основными источниками погрешностей являлись паразитные засветки и переотражения, система электропитания фары, пространственное распределение фотометрической головки и экрана, а также внутренние погрешности системы.

На первых этапах работы было установлено, что сложные климатические условия и длительный срок эксплуатации повышают номинальное значение сопротивления относительно паспортных данных в любых установках и приборах схожего типа. Вследствие использования при работе стенда различных автомобильных фар с лампами различных моделей изменяется и значение сопротивления. Обычно переходное сопротивление не превышает 0,4 Ом, а сопротивление лампы фары – приблизительно 12 Ом, следовательно, данная составляющая погрешности может достигать 3 % и оказывать существенное влияние на получаемые результаты.

Отдельного рассмотрения требует погрешность колебания напряжения блока питания, которая характеризует точность установки напряжения, подаваемого на лампу, и влияние отклонений на значение выходного оптического излучения. Напряжение подавалось в интервале 9,5...14 В и изменялось с шагом 0,5 В. Результаты исследования представлены на рис. 2.

Из рисунка видно, что отклонение напряжения, поступающего на лампу, непосредственно влияет на характеристики выходного оптического излучения. Изменение напряжения на лампе № 3 с 12 до 12,5 В приводит к изменению регистрируемой освещенности на 2,5 %. При разработке стенда использовался блок питания высокой точности, стабильность регулировки напряжения которого обеспечивалась на уровне 0,5 %. Проведенный эксперимент позволил получить результаты измерений, приближенные к производственным, оценить влияние изменения поступающего напряжения и сделать вывод о необходимости точной установки и стабилизации подающегося напряжения.

К погрешностям, связанным с системой электропитания фары, относится и стабильность во времени работы (0,5 %). Стоит также отметить, что на общий результат измерений оказывает влияние длительность выхода на режим работы системы питания. Для выхода на режим работы автомобильной фары потребовалось 30 мин, погрешность во время выхода на режим работы не превышала 4 %. Отсюда следует, что несоблюдение установленного времени “прогрева” блока питания может привести к существенным погрешностям.

Вследствие того, что одним из ключевых аспектов стенда [9], а также основным элементом при измерении силы света фар транспортного средства является наличие приемника оптического излучения, исследование погрешностей данного направления имеет особое значение. Так была оценена погрешность, связанная с перепадом температур. Общеизвестно, что существует температурная зависимость чувствительности как для приемников, так и для фильтров. Такая зависимость характеризуется температурным коэффициентом  $\alpha$  и обычно не превосходит 0,3 °С. Отсюда следует, что при

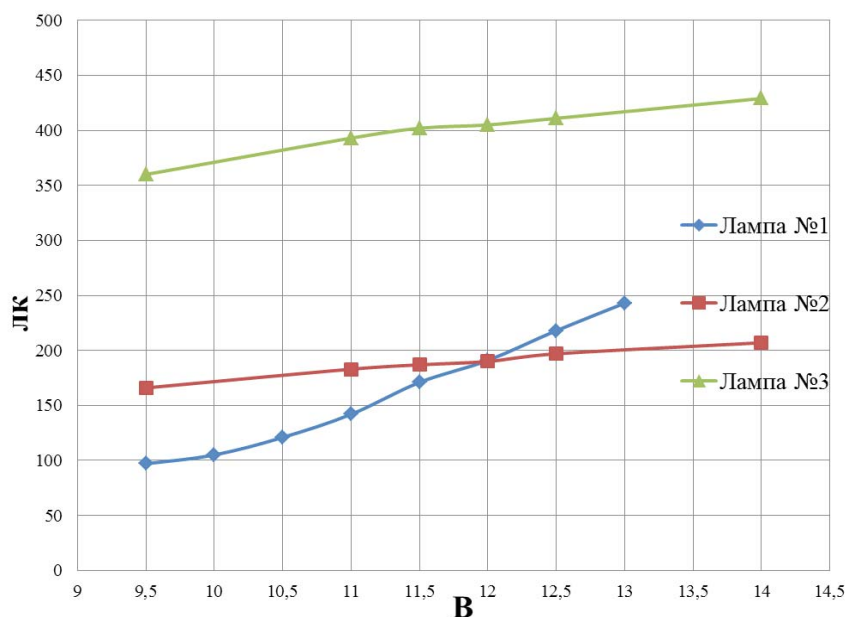


Рис. 2. Зависимость силы тока и освещенности от изменения напряжения на лампе

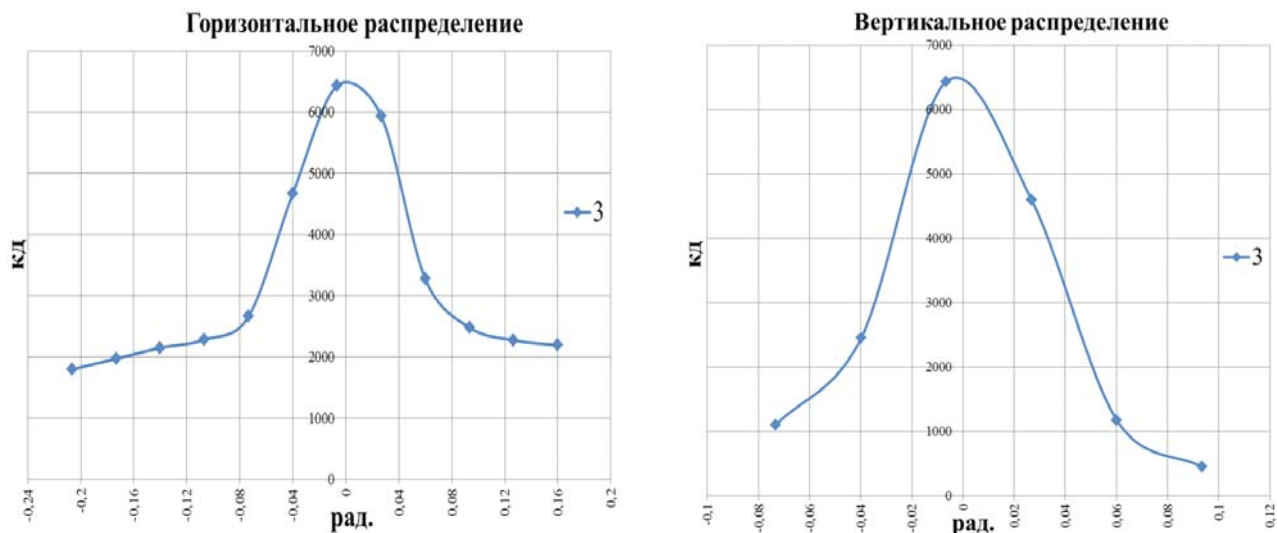


Рис. 3. Распределение силы света на экране

изменении температуры на 20 °С будет иметь место погрешность порядка 6 %.

Далее проводилось исследование погрешности относительной спектральной чувствительности приемника. Спектральная чувствительность приемника оптического излучения [14, 15] должна соответствовать кривой видности человеческого глаза  $V(\lambda)$  (по паспортным данным – 3...5 %).

Отдельного рассмотрения требует погрешность усреднения по диаметру приемной головки [9] (2,5...5 %), которая обусловлена различными конфигурациями как приемника оптического излучения, так и источника. При проведении экспериментальных исследований использовались приемные головки трех диаметров: 0,3; 10; 25 мм.

При проведении любых измерений большое влияние на их качество имеет окружающая среда,

что в условия измерений оптических величин имеет особое значение. Наличие нежелательных засветок и переотражений влечет за собой существенные систематические погрешности. Их нейтрализация – достаточно трудная задача, однако конструкция стенда позволяет проводить измерения в условиях полной светоизоляции, что дает возможность оценить данную составляющую погрешности (0,5...9,5 %). Для устранения погрешности, связанной с переотражением оптического излучения от окружающих объектов, и для анализа степени их влияния была изготовлена специализированная бленда 4 (рис. 1). Ее конструкция позволяла уменьшить влияние рассеянного излучения.

При оценке погрешности пространственного распределения были получены значения 3; 2...6 % (юстировка экрана по длине и по пространственной

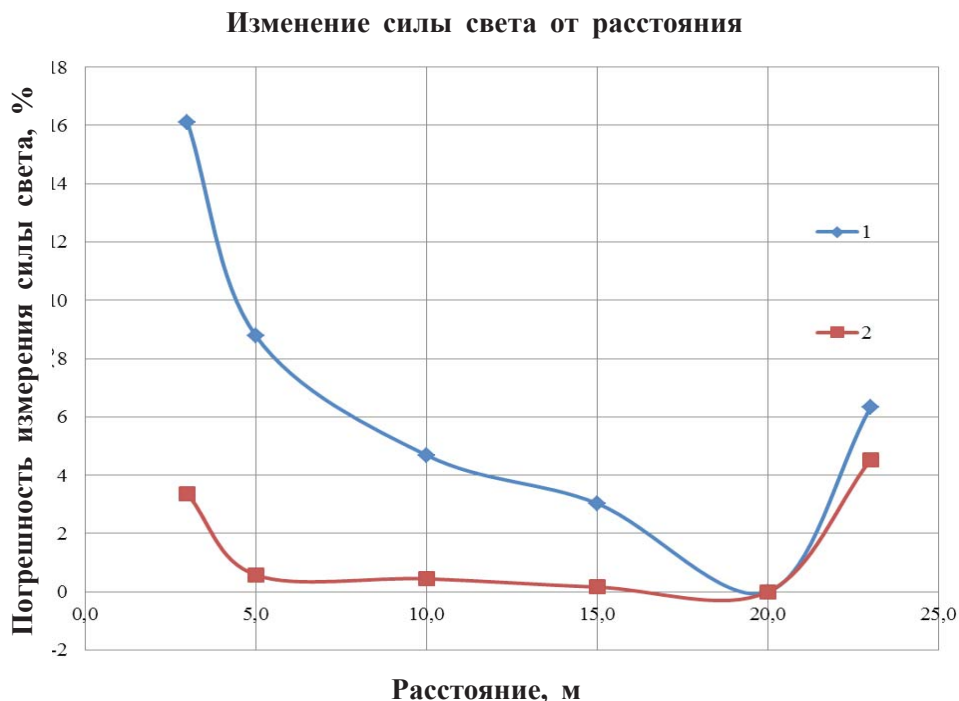


Рис. 4. Погрешность измерения силы света в зависимости от расстояния

координате соответственно) [9]. В лабораторных условиях такой контроль можно провести с помощью регистрации излучения на экране с координатной сеткой. Сетка наносилась в вертикальной и горизонтальной развертке с шагом в 0,1 м. Экран с сеткой юстировался таким образом, чтобы максимум освещенности излучения приходился на центр координат. Отличие между сериями измерений для каждого расстояния и каждого типа фар бралось за соответствующую составляющую погрешности. В результате полученных данных были сформированы диаграммы распределения силы света от угла отклонения излучения относительно максимума интенсивности. На рис. 3 приведены типичные результаты измерений, проведенные на расстоянии 3 м.

Одним из важнейших направлений проведения измерений является исследование соответствия работы оптических приборов данного типа условиям сохранения значения силы света источника на всех расстояниях. Известно, что сила света должна быть одинаковой на всех расстояниях, однако на практике ее значение увеличивается в зависимости от расстояния. На рис. 4 показан уровень погрешности измерения силы света. За основное значение при расчете было выбрано максимальное значение силы света. Под номером 1 представлена кривая результата экспериментального исследования, а под номером 2 – расчетный результат с учетом поправки к расстоянию. Поправка выбиралась из условия минимального изменения силы света с расстоянием, что позволило более чем в 4 раза уменьшить погрешность.

Экспериментальные измерения, представленные на рис. 4 и проведенные на стенде, показывают увеличение силы света до отметки в 20 м, после которой идет резкое увеличение составляющей погрешности. Вероятнее всего, данное явление обусловлено остаточным переотражением от посторонних объектов в силу увеличения составляющей рассеянного излучения в зависимости от расстояния.

Полученные результаты экспериментального исследования работы стенда позволяют оценить методику работы соответствующих приборов и произвести коррекцию погрешностей, возникающих при их эксплуатации.

Для проведения сравнительного анализа со стендом ННЦ “Институт метрологии” [9] был выбран прибор фирмы “МЕТА” – эталонный те-

лещентрический осветитель ЭТО-2 (рис. 5), предназначенный для калибровки и поверки приборов, применяющихся для измерения параметров внешних световых приборов автотранспортных средств [11].

Основным конструктивным узлом прибора является осветитель 2, который состоит из параболического отражателя, радиатора и источника оптического излучения. Оптическое излучение, проходя через выходное отверстие, поступает на линзу 3, после чего проходит через диафрагму 4 и ослабитель 5. Работа прибора предусматривает его эксплуатацию как с элементами 4 и 5, так и без них. Представленные на схеме блоки 6 и 7 являются приемной головкой ТЕС 0693 и экраном соответственно. В перечень комплектации прибора они не входят. В случае поверки ЭТО-2 не в условиях стенда, необходимо применять прибор ИПФ-1, который представляет собой приемник излучения с экраном.

Для получения высокоточных параметров необходимо установить указанное, точное значение силы тока, подаваемого на лампу, для чего используется стабилизированный блок питания 1.

Поверка средств измерительной техники проводится в соответствии с паспортом прибора и руководством по эксплуатации на расстоянии  $l = 7$  м от линзы осветителя на одной общей оптической оси с приемником, в то время как действующий стандарт ДСТУ 3649-97 [3] требует проведения измерения на 3 или 5 м. В паспорте прибора приведены результаты первичной поверки ЭТО-2 в виде таблицы данных с приведенными там значениями силы света в условиях применения осветителя с представленными в комплекте диафрагмами (диаметр 40 и 30 мм) и ослабителями излучения.

В соответствии с [9, 11] были оценены источники погрешности, оказывающие влияние на измерение силы света. Как и при исследовании погрешности на стенде, первыми рассматривались погрешности системы электропитания осветителя, а именно, погрешность подачи электрического тока на лампу, обусловленная сопротивлением на контактах (1 %). В данном приборе используются современные разъемы системы питания с кабелями высокого качества.

Далее была оценена погрешность, вызванная колебаниями значения тока питания (3 %). Эта погрешность связана с неточностью регулировки или установки питания осветителя. Для получения достоверного результата измерения следует соблюдать требования, установленные руководством

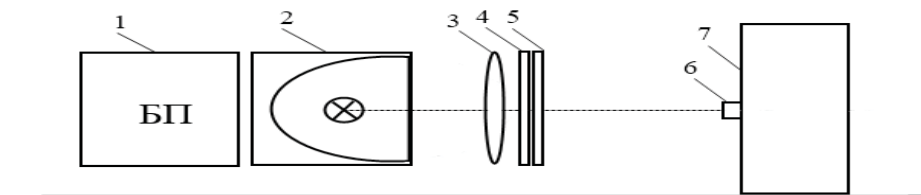


Рис. 5. Схема эталонного телецентрического осветителя ЭТО-2

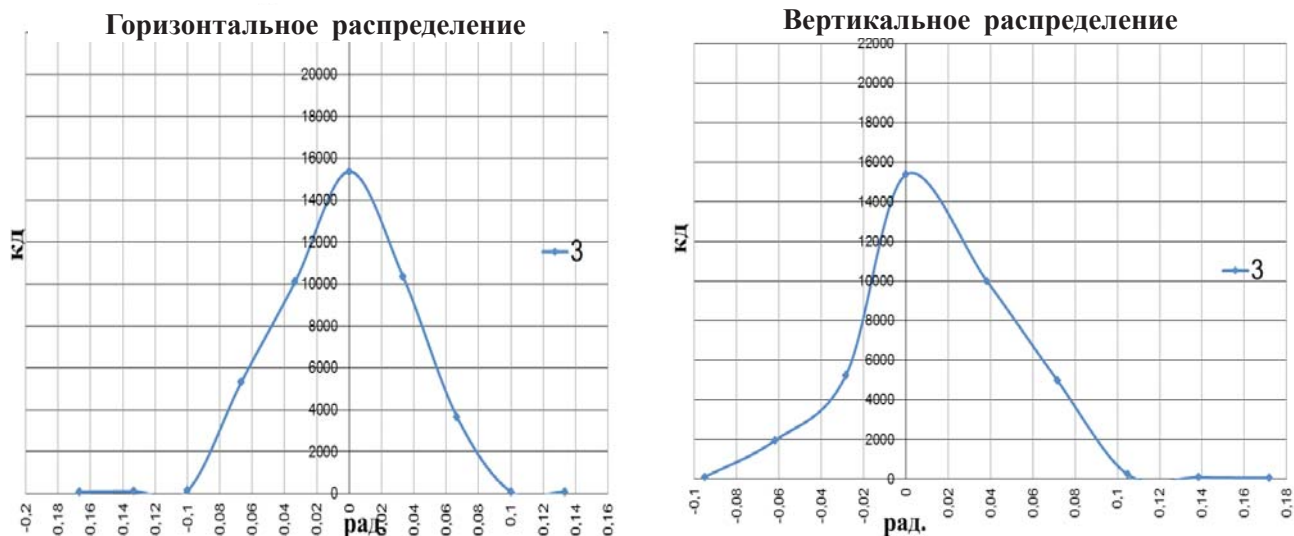


Рис. 6. Распределение силы света на экране

эксплуатации прибора, относительно номинальной силы тока питания, поступающего на лампу.

Исследовалась длительность проверки выхода на режим и последующей работы. Для выхода на режим работы автомобильной фары потребовалось 25 мин, значение силы света в это время изменялось скачкообразно в различные стороны, затем погрешность стабилизации не превышала 0,5 %.

Среди погрешностей прибора особое место занимает влияние переотражений на результаты, получаемые приемником оптического излучения. В руководстве эксплуатации прибора ЭТО-2 представлены результаты первичной поверки прибора с указанными значениями силы света с учетом использования диафрагм и ослабителей. При проведении многократных измерений прибора на стенде ННЦ “Институт метрологии” были получены результаты, в некоторых случаях существенно отличающиеся от приведенных в руководстве. При работе прибора без использования диафрагм значение погрешности отклонения результатов составило 8 %. В случае установки диафрагм диаметром 40 и 30 мм результаты, полученные при

измерении, не превышали 2,5 %. Причиной такой погрешности может служить погрешность первичной поверки прибора. Так как выходное оптическое излучение при работе без диафрагм имеет большой угол расходимости, могло произойти переотражение от посторонних объектов. В свою очередь, наличие диафрагм урезало оптическое излучение и устранило нежелательные последствия рассеянного излучения.

Проводились измерения пространственного распределения силы света (5, 3...13 %) [11]. На рис. 6 представлены результаты измерения пространственного распределения без использования диафрагм и ослабителей на расстоянии 3 м.

Основываясь на исследованиях, представленных на рис. 4, аналогичные измерения распределения силы света в зависимости от расстояния были проведены для ЭТО-2. На рис. 7 приведен график распределения силы света в зависимости от расстояния. Изображенные на рисунке кривые относятся к трем диаметрам выходного отверстия (Д0 – отражатель без диафрагмы; Д1 – отражатель с диафрагмой 40 мм; Д2 – диафрагма 30 мм).

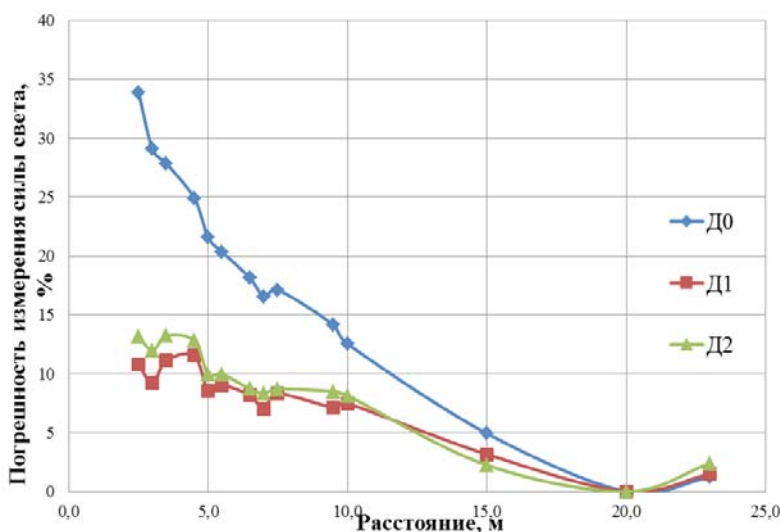


Рис. 7. Погрешность измерения силы света в зависимости от расстояния

Таблица 1

Максимальная и средняя относительная погрешности измерения силы света

l	Осветительная система / № фары	Горизонтальное распределение		Вертикальное распределение	
		максимальное	среднее	максимальное	среднее
3	1	0,069	0,029	0,073	0,044
	2	0,015	0,007	0,026	0,007
	3	0,024	0,012	0,079	0,031
	Без диафрагмы	0,110	0,050	0,101	0,039
	Диафрагма 40 мм	0,147	0,071	0,070	0,052
	Диафрагма 30 мм	0,089	0,046	0,092	0,063
	1	0,035	0,011	0,057	0,024
5	2	0,008	0,005	0,035	0,019
	3	0,051	0,031	0,041	0,020
	Без диафрагмы	0,069	0,045	0,094	0,051
	Диафрагма 40 мм	0,021	0,009	0,056	0,029
	Диафрагма 30 мм	0,063	0,009	0,030	0,023
10	1	0,012	0,007	0,029	0,004
	2	0,003	0,001	0,006	0,002
	3	0,032	0,010	0,082	0,017
10	Без диафрагмы	0,014	0,006	0,033	0,009
	Диафрагма 40 мм	0,040	0,007	0,059	0,015
	Диафрагма 30 мм	0,060	0,007	0,038	0,007

Результаты, полученные при использовании диафрагм, имеют значительно меньший уровень погрешности. Также на рисунке можно увидеть рост погрешности после отметки 20 м, что совпадает с результатами исследования закона квадратов расстояния на стенде (рис. 4).

С учетом полученных результатов экспериментов измерения пространственного распределения пучка излучения была сформирована таблица погрешностей измерения силы света (табл. 1), отображающая максимальную и среднюю погрешности измерения на расстояниях 3, 5 и 10 м при использовании трех типов автомобильных фар (трех различных ламп) [9, 11]. В таблице представлены результаты для

измерений, проводимых на стенде и ЭТО-2. В качестве источника излучения для стенда использовались автомобильные фары с лампами различных конфигураций: № 1, № 2, № 3. В ЭТО-2 применялся осветитель из комплекта поставки с диафрагмами 40 и 30 мм.

Для обеспечения достоверного результата измерения необходимо проводить в несколько серий. Так как получение пространственного распределения требует точности установки экрана во всех трех координатах (по расстоянию – координата Z, по пространству – X и Y), можно оценить данную составляющую погрешности, которая возникает из-за необходимости переюстировки экрана после каждой

Таблица 2

Сравнительная характеристика погрешностей измерения силы света осветителя и стенда

Источник погрешности	Погрешность, %		Тип погрешности
	Стенд	ЭТО-2	
Переходные контакты	3	1	Систематическая
Погрешность блока питания	0,5	3	Систематическая
Стабильность во времени	0,5	0,5	Случайная
Отраженное излучение	1	8	Случайная
Фоновая засветка	0,5...9,5	0,5...9,5	Систематическая
Юстировка экрана (по длине)	3	5	Случайная
Юстировка экрана (по координате)	2...6	3...13	Случайная
Усреднение по диаметру приемной головки	2,5...5	2,5...5	Систематическая
Коррекция по V (λ)	3...5	–	Систематическая
Температурная зависимость чувствительности приемника	6	–	Случайная

серии измерений. Максимальное значение погрешности в 2...4 раза превышает среднее.

В работе [11] представлена сводная таблица погрешностей измерения силы света. В табл. 2 приведены значения погрешностей измерения силы света световых приборов транспортных средств для стенда ННЦ “Институт метрологии” [9] и эталонного телецентрического осветителя ЭТО-2 фирмы “МЕТА” [11].

### Выводы

В данной работе был проведен сравнительный анализ эталонного телецентрического осветителя ЭТО-2 и стенда, разработанного ННЦ “Институт метрологии”. Среди объектов рассмотрения выступали конструктивные особенности приборов, принцип действия и возникающие погрешности. Полученные результаты экспериментальных исследований позволили сформировать сводную таблицу погрешностей приборов, применяемых при измерении светотехнических характеристик автомобильных фар и измерителей силы света. Также были построены графики распределения силы света в зависимости от расстояния и оценены коэффициенты, необходимые для проведения коррекции погрешностей измерения.

Результаты, полученные при выполнении работы, послужили серьезным обоснованием к проведению дальнейших исследований и модернизации стенда ННЦ “Институт метрологии”.

### Список литературы

1. Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження дорожніх транспортних засобів стосовно установлення пристроїв освітлення та світлової сигналізації (Правила ЕЭК ООН № 48-02:2001, IDT): ДСТУ UN/ECE R 48-02:2002. – [Чинний від 2003-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2002. – (Національний стандарт України).
2. Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження автомобільних фар з асиметричними вогнями ближнього світла та/або вогнями дальнього світла, призначених для використання з галогенними лампами розжарювання: ДСТУ UN/ECE R 20-02:2002. – [Чинний від 2002-07-24]. – К.: Держспоживстандарт України, 2002. – (Національний стандарт України).
3. Безпека дорожнього руху. Автомобільні дороги, вулиці та залізничні переїзди. Вимоги з експлуатаційного стану: ДСТУ 3587-97. – [Чинний від 1997-07-31]. – К.: Держстандарт України, 1997. – 22 с. – (Державний стандарт України).

4. Засоби транспортні дорожні. Експлуатаційні вимоги безпеки до технічного стану та методи контролю: ДСТУ 3649-97. – [Чинний від 1997-09-29]. – К.: Держстандарт України, 1998. – 50 с. – (Національний стандарт України).
5. Колісні транспортні засоби. Вимоги щодо безпечності технічного стану та методи контролювання: ДСТУ 3649:2010. – [Чинний від 2010-12-28]. – К.: Держспоживстандарт України, 2011. – 56 с. – (Національний стандарт України).
6. Фары дальнего и ближнего света автомобилей. Технические условия: ГОСТ 3544-75. – [Введ. 1975-05-20]. – М.: Изд-во стандартов, 2000. – 20 с. – (Межгосударственный стандарт).
7. Купко О.Д. Особливості вимірювання світлотехнічних параметрів на транспорті / О.Д. Купко // Метрологія та прилади. – 2010. № 5. – С. 56–61.
8. Купко А.Д. О необходимости оптимизации методик измерения световых величин при большом числе объектов / А.Д. Купко // Світлолюкс. – 2012. – № 4. – С. 27–29.
9. Купко О.Д. Аналіз похибок вимірювання сили світла автомобільних фар / О.Д. Купко, В.В. Терещенко // Метрологія та прилади. – 2014. – № 4. – С. 32–37.
10. Купко О.Д. Теоретичний аналіз систематичних похибок вимірювання яскравості / О.Д. Купко, Б.Г. Шабашкевич, Ю.Г. Добровольський // Український метрологічний журнал. – 2013. – № 4. – С. 33–37.
11. Терещенко В.В. Дослідження похибок вимірювання світлотехнічних характеристик імітаторів приладів транспортного засобу / В.В. Терещенко // Метрологія та прилади. – 2015. – № 1. – С. 35–39.
12. Эталонный телецентрический осветитель ЭТО-2: Руководство по эксплуатации. – 2009.
13. Айзенберг Ю.Б. Справочная книга по светотехнике / Ю.Б. Айзенберг. – М.: Знак, 2006. – 972 с.
14. ГСИ. Световые измерения. Значения относительной спектральной световой эффективности монохроматического излучения для дневного зрения: ГОСТ 8.332-78. – [Введ. 1978-12-18]. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1979. – 6 с. – (Государственный стандарт Союза ССР).
15. Преобразователи излучения для световых измерений. Методы определения параметров, характеризующих качество воспроизведения относительной световой эффективности монохроматического излучения для дневного зрения: ОСТ 16.0.800 926-82.