требований к центральному устройству системы управления, облегчение процедуры метрологической аттестации.

Источниками погрешности датчиков, носящих случайный характер, являются:

– колебания геометрических размеров упругого элемента датчиков;

– изменения физико-механических характеристик упругого элемента датчика;

– изменение взаимного положения частиц герметика и клеевых соединений тензометрических преобразователей относительно упругого элемента датчика под воздействием нагрузки и колебаний параметров внешней среды.

Последний источник погрешности может характеризоваться «ползучестью». В общем случае термин используется для обозначения неупругих процессов изменения во времени деформации и напряжений в телах различной природы.

Нами проведены исследования проявления ползучести при статическом нагружении грузоприемной платформы весов, оборудованных тензометрическими датчиками.

В ходе эксперимента платформа нагружалась (разгружалась) грузом. Изменения результатов измерений во времени представлены на рисунке 3.

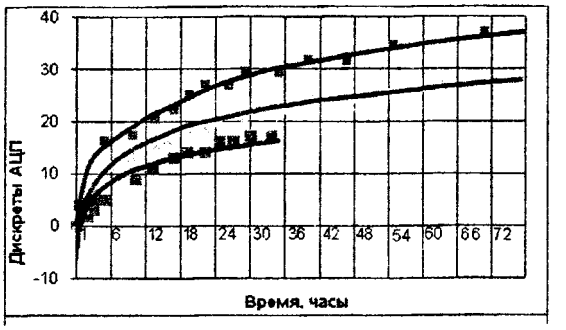

Рисунок 3 – Изменение погрешности весоизмерительной системы во времени, обусловленное ползучестью

Результаты экспериментальных исследований свидетельствуют о том, что изменение выходного сигнала, вызванное ползучестью, обладают достаточной стабильностью для определенного исполнения датчика. Установлено, что экспериментальные данные хорошо аппроксимируются логарифмическими кривыми. Это позволяет говорить о возможности аналитической компенсации изменения выходного сигнала.

ПРОБЛЕМА ОЦЕНКИ ИНДЕКСА ЦВЕТОПЕРЕДАЧИ СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ

Скумс Д.В., Лысенок О.Н., Тарасова О.Б.

Белорусский государственный институт метрологии, Минск, Республика Беларусь

До 15 % потребляемой в стране электроэнергии приходится на освещение улиц и помещений[1, 2]. В последнее время широкое распространение получили компактные люминесцентные лампы (т.н. энергосберегающие). Однако их применение сопряжено с рядом трудностей. В частности, такие лампы являются ртутьсодержащими и требуются специальные меры для утилизации, что, безусловно, снижает экономический эффект от их внедрения и загрязняет окружающую среду. Подобных недостатков лишены светодиодные источники. Выполненные в тех же форм-факторах, что и стандартные лампы накаливания, они имеют энергопотребление до 10–20 раз меньшее при сопоставимом времени жизни[3]. Так применение LED-освещения снизило энергопотребление шведского аэропорта Арланды на 50 %. Помимо низкой стоимости обслуживания и малого энергопотребления, светодиоды имеют еще одно существенное преимущество: в отличие от использовавшихся ранее стандартных металлогалогенных ламп, они быстро включаются и выключаются, что позволяет использовать датчики движения для дополнительного сокращения энергопотребления [4].

Одним из основных параметров, наряду с потребляемой электрической мощностью, позволяющим конечному пользователю судить о качестве источника освещения, является индекс цветопередачи (далее – ИЦП). ИЦП характеризует сходство или различие цветовых стимулов при восприятии наблюдателем, когда объект освещается исследуемым и стандартным источником света [5]. В качестве тестового объекта при определении ИЦП используются 8 стандартных образцов из атласа Манселла.

Общий индекс цветопередачи *Ra*, рекомендованный МКО, определяется как:

$$R_a = \sum_{i=1}^{8} R_i, \quad (1)$$

$$R_i = 100 - 4{,}6\Delta Ea, \quad (2)$$

где R_i – частный индекс цветопередачи, расчитаный для одного стандартного образца, ΔEa – цветовое

различие между исследуемым и стандартным источником освещения, рассчитаное в колориметрической системе $W^*U^*V^*$[6]. Величина коэффициента 4,6 была подобрана таким образом, что бы ИЦП галофосфатных флуоресцентных ламп R_a был равен 50.

Стандартный ИЦП МКО имеет ряд существенных недостатков, заложенных в основание метода. Цветовое пространство, применяемое при расчёте цветовых различий, более не рекомендуется МКО для колориметрических расчётов, поскольку имеет большую неоднородность в красной области. Также большим источником погрешности является то, что при измерении ИЦП, в качестве эталонного, рекомендовано использовать источник с той же или максимально близкой коррелированой цветовой температурой (ЦТ), что и испытуемый. До 5000 К это абсолютно чёрное тело, свыше 5000 К – источник типа D65 (дневной свет). Расчёты показывают, что источник с ЦТ 4999 К, имеющий ИЦТ R_a=100, получит индекс цветопередачи значительно более низкий, если его температура поднимется всего на 2 К [7]. Большой проблемой ИЦТ является то, что он рассчитывается, как среднее арифметическое 8 частных индексов цветопередачи. Таким образом, источник, имеющий крайне низкую цветопередачу в какой либо части спектра, получит высокий ИЦП за счёт усреднения. При этом потребитель не сможет всесторонне оценить качество источника освещения. Особенно ярко эта проблема проявляется при расчёте ИЦП современных энергосберегающих осветителей, таких как компактные люминесцентные лампы и светодиоды. Последние имеют спектральное распределение, существенно отличающееся от такового у абсолютно чёрного тела и стандартных излучений МКО. В [8] описаны проблемы вызванные этим: в качестве испытуемого, был взят светодиодный кластер на основе диодов синего (460 нм.), зелёного (540нм.) и оранжевого (605 нм.) свечения. Коррелированная цветовая температура – 3300 К, R_a – 81. После этого была построена математическая модель аналогичного осветителя с пиками 455 нм, 534 нм и 616 нм. Его индекс цветопередачи равен 67, что делает такой источник неприемлемым для освещения жилых помещений. Однако исследования частных индексов R_i показали, что данный кластер значительно лучше передаёт большинство цветов, за исключением синей области, которые и вызвали существенное снижение ИЦП. При этом потребители отдают предпочтение именно таким типам осветителей.

Опираясь на все вышеизложенные доводы, МКО в 2007 году опубликовал технический доклад CIE 177:2007 «Измерение цветопередачи белых светодиодов». В его результирующей части сказано, что ИЦП МКО нельзя применять для оценки цветопередачи источников освещения на основе (или имеющих в своём составе) белые светодиод. Комитет рекомендует разработать новый индекс цветопередачи. Новый дополнительный индекс(или набор индексов) должен быть применим ко всем типам источников света, а не только к белым светодиодам[9].

По состоянию на середину 2011 года авторам известно о семи предложенных методиках для замены действующего ИЦП:

Rank-order based color rendering index (RCRI), авторы Bodrogi, Bruckner, Khanh. Является модификацией действующего метода с 17 тестовыми образцами [10].

Feel of contrast index (FCI), авторы Hashimoto, Yano, Nayatani.

Модификация ИЦП МКО с использованием другого цветового пространства. Предназначен для дополнения действующего индекса [11].

CRI-CAM02UCS, авторы Li, Luo, & Li. Модификация ИЦП МКО с устранением приведённых выше недостатков [12].

Color quality scale (CQS), авторы Davis, Ohno. Шкала основана на 15 манселовских образцах, имеющих более насыщенный цвет, чем в методе ИЦП МКО [7].

Harmony rendering index (HRI), авторы Szabo, Bodrogi, Schanda. Индекс определяется, как разность в цветовой гармонии тестовых образцов при освещении эталонным и испытуемым источником [13].

Categorical color rendering index (CCRI), авторы Yaguchi, Endoh, Moriyama, Shioiri. В основе метода лежит визуальная оценка наблюдателями большого количества (в экспериментах авторов 295) образцов при освещении эталонным и испытуемым источником [14].

Memory CRI (MCRI), авторы Smet, Forment, Hertog, Deconinck, Hanselaer

Основан на эффекте памяти цвета. В качестве тестовых образцов используются реальные объекты (фрукты и т.п.) [15].

Следует отметить, что каждый из этих методов, исправляя те или иные недостатки ИЦП МКО, не решает полностью задач, поставленных в [9].

Анализ действующих в Республике Беларусь технических нормативных правовых актов (далее ТНПА) показал, что к значению ИЦП для источников освещения предъявляется ряд требований, выход за рамки которых влечёт запрет на применение данного типа осветителей, например [16]. В то же время отсутствуют какие-либо ТНПА нормирующее процедуру измерения индекса. Единственным ГОСТом, нормирующим методы измерения цветовых характеристик источников освещения, является ГОСТ 23198-94 [17]. Данный стандарт был разработан в 1994 году и устарел, как морально (содержит обязательное требование поверки измерительного оборудования в органах Госстандарта России, предусмотренное в нем оборудование давно нигде не применяется), так и концептуально (стандарт основан на публикации МКО 1974 года «Методы измерения и спецификации свойств цветопередачи источников света» в то время как действующей является версия 1994 года. В аналогичной ситуации Министерство энергетики США рекомендовало просто не использовать ИЦП для определения качества светодиодных осветителей. Однако данное ре-

шение неприемлемо в Республике Беларусь, поскольку, как указывалось выше, имеется ряд ТНПА регулирующих допустимую величину ИЦП.

В связи с этим БелГИМ в настоящее время ведёт мониторинг систем предложенных на замену действующему индексу цветопередачи МКО. Планируется проведение работ с целью выбора лучшей метрики и создания на её основе ТНПА в дополнение к действующим.

1. Кирвель, И.И. Энергосбережение. Конспект лекций для студентов всех специальностей БГУИР всех форм обучения. / И.И. Кирвель // М. 2007. Режим доступа :http://www.bsuir.by/m/12_100229_1_65369.pdf
2. Кузьминов, А.С. Маркировка энергоэффективности как инструмент снижения энергопотребления электробытового оборудования. / А.С. Кузьминов. – Режим доступа: http://www.v-itc.ru/electrotech/2010/04/pdf/2010-04-09.pdf
3. Лишик, С.И. О светодиодных лампах прямой замены. / С.И. Лишик и др. //М. Светотехника, №1, 2010 г.
4. http://technologyworld.blog.ru/80642627.html
5. Меламед, О.П. Оценка индекса цветопередачи источников излучения при низких уровнях яркости адаптации. Режим доступа: http://www.lightonline.ru/svet/Science/Ra_low_level_adaptation.html
6. CIE (Commission Internationale de l'Eclairage), Method of Measuring and Specifying ColourRendering Properties of Light Sources. 3ed ed. Publication CIE № 13 (E-l.3.2). 1994.
7. W. Davisa, Y. Ohno. Approaches to color rendering measurement. Journal of Modern Optics , Volume 56, Issue 13, Cnh 1412 - 1419
8. M. Wood. CRI and the Color Quality Scale, Part 2 Режим доступа: http://www.mikewoodconsulting.com/articles/Protocol%20Spring%202010%20-%20CRI%202%20CQS.pdf
9. CIE 177:2007. Technical report. Color rendering of white LED light sources.
10. Khanh, Bodrogi, Brückner. Rank-order based description of colour rendering: definition, observer variability and validation. CIE 2010 "Lighting Quality & Energy Efficiency", 17.März 2010, Wien. Wien [Conference or Workshop Item] , (2010)
11. Hashimoto, Yano, Shimizu, Nayatani. New method for specifying color-rendering properties of light sources based on feeling of contrast. Color Research & Application Vol. 32, Issue 5, pp 361–371, October 2007
12. Cheng, Li, Ming Ronnier Luo , Changjun Li. Assessing Colour Rendering Properties of Daylight Sources Part II: A New Colour Rendering Index: CRI-CAM02UCS Режим доступа: http://cie2.nist.gov/TC1-69/Leeds/CIE-CLi%202-final.pdf
13. F. Szabo. New Metric on Light Source Colour Quality: Colour Harmony Rendering Index Режим доступа: http://www.create.uwe.ac.uk/norway_paperlist/szabo.pdf
14. Hirohisa, Yaguchi, Nanako Endoh, Takayoshi Moriyama, Satoshi Shioiri. Categorical Color Rendering of LED Light Sources. CIE Expert Symposium on LED Light Sources: - Physical Measurement and Visual and Photobiological Assessment, 2004
15. Smet, Forment, Hertog, Deconinck, Hanselaer. Validation of a color rendering index based on memory colours. CIE Conference on "Lighting Quality and Energy Efficiency" vol:x035:2010 pages:136-142
16. ТКП 45-2.04-153-2009 Естественное и искусственное освещение. Строительные нормы проектирования.
17. ГОСТ 23198-94 Лампы электрические. Методы измерения спектральных и цветовых характеристик.