

**А.А. Батуринец, Д.Н. Макаров, А.Г. Полутов**

АО «Научно-производственный комплекс «ЭЛАРА» имени Г. А. Ильенко», Чебоксары, Россия

## СПОСОБЫ АДАПТАЦИИ ВСТРОЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ ДЛЯ РАБОТЫ СОВМЕСТНО С ПРИБОРАМИ НОЧНОГО ВИДЕНИЯ

*Применение в авиационных системах встроенного освещения световой индикации различных цветов обусловлено как типом отображаемой информации, так и условиями применения авиационной техники. Увеличение количества цветов индикации необходимо производить с учетом совместимости светотехнического оборудования с бортовым оборудованием, а также полного цветового различия цветов, что предполагает оптимальное (минимальное) количество цветов, однозначно распознаваемых пилотом. Проведен анализ цветов встроенного освещения, применяемых в авиационной технике различного назначения. Рассмотрены результаты экспериментальных исследований различных комбинаций светодиодов российских предприятий и светофильтров из органического стекла и светофильтров из кварцевого стекла (ГОСТ 9114–91). Целью исследований являются определение соответствия цветовых характеристик используемых светодиодов в комбинации с различными светофильтрами для адаптации встроенного освещения и снижения потребляемой электрической энергии, а также выявление тенденции и применение подходов при разработке систем встроенного освещения.*

**Ключевые слова:** приборы ночного видения, светофильтры, встроенное освещение.

Для цитирования: Батуринец А. А., Макаров Д. Н., Полутов А. Г. Способы адаптации встроенного освещения для работы совместно с приборами ночного видения // Радиопромышленность. 2017. № 4. С. 135–140.

**A.A. Baturinets, D.N. Makarov, A.G. Polutov**

The Ilyenko ELARA research and production complex, Cheboksary, Russia

## METHODS OF ADAPTATION OF BACKLIGHTING FOR WITH NIGHT VISION SYSTEMS

*The use in aircraft backlighting systems with different colors is due to both the type of information displayed and the conditions for the use of aviation equipment. Increasing the number of display colors should be made taking into account compatibility of lighting equipment with on-board equipment, as well as full color difference of colors, which implies an optimal (minimum) number of colors uniquely recognized by the pilot. The analysis of colors of backlighting used in aviation technology for various purposes is carried out. The results of experimental studies of various combinations of LEDs of Russian enterprises and optical filters made of organic glass, as well as colored filters made of quartz glass, are considered. The purpose of the research is to determine the correspondence of the color characteristics of the LEDs used in combination with various color filters to adapt the backlighting and optimize the consumption of electrical energy, as well as the identification of trends and the application of approaches for the development of integrated lighting systems.*

**Keywords:** night vision systems, colored filter, backlighting.

For citation: Baturinets A. A., Makarov D. N., Polutov A. G. Methods of adaptation of backlighting for with night vision systems. Radiopromyshlennost, 2017, no. 4, pp. 135–140 (In Russian).

DOI 10.21778/2413-9599-2017-4-135-140

С конца 90-х годов прошлого века применение оборудования и технологий ночного видения не ограничивается применением в военной технике.

Приборы ночного видения широко применяются в полиции [1], медицине [2], поисковой технике, а в связи с увеличением применения оборудования

и датчиков, область чувствительности которых располагается в ближней инфракрасной области, можно ожидать появления требований по адаптации к светосигнальному оборудованию и для объектов гражданской авиации. В современной пилотируемой авиации используются две группы цветов: Aviation colors (Зеленый, Желтый, Красный, Белый, Синий) и NVIS colors (Зеленый А, Зеленый В, Желтый А, желтый В, Красный, Белый), в соответствии с MIL-STD-3009. Применительно к нормативно-техническим документам, действующим в Российской Федерации, обе группы цветов представлены в отраслевом и государственном стандартах. Существенным отличием цветов первой группы от второй является адаптация последней для работы совместно с приборами ночного видения.

При сопоставлении положения и форм одноименных цветовых локусов отраслевого стандарта и государственного стандарта на цветовой диаграмме C.I.E. 1931 можно обнаружить как совпадение требований к цвету в нормативных документах (Синий цвет) и их частичное пересечение (Зеленый и Желтый цвет), так и отсутствие пересечения локусов по мере приближения к длинноволновому излучению (Красный цвет). Наибольшее различие цветовых областей наблюдается в красном цвете, что объяснимо из анализа источников света, как правило, ламповых, широко применяемых в период разработки стандартов, а также технологией обеспечения цвета с использованием светофильтров разных типов. Однако с развитием светодиодных источников света наблюдается иная тенденция, а именно возможность использования потребителем новых цветов NVIS: Желтого В и Красного для гражданской авиации (VIVISUN, Aerospace Optics Inc.), что фактически является результатом адаптации для работы с приборами ночного видения цветов первой группы.

Накопленный опыт применения цветовых решений систем встроенного освещения выявил также необходимость учета цветового различия индицируемой информации, в части обеспечения его максимально возможной величины. Длинноволновая область, например, локуса Зеленый В (MIL-STD-3009) и коротковолновая область локуса Желтый (MIL-STD-3009) находятся практически в одной области цветовой диаграммы ( $u$ ,  $v$ ), что при высоких уровнях освещенности может восприниматься в качестве одного и того же цвета. Введение нормализованного желтого цвета Желтый В является решением как задачи обеспечения адаптации, так и задачи обеспечения цветового различия для безошибочного восприятия цвета встроенного освещения. Выполнение требований российского стандарта обеспечивает совместное решение обеих задач для всех цветов.

В процессе выполнения НИР по разработке устройства коммутационного светосигнального (УКС) была разработана система встроенного светодиодного освещения надписей и светосигнализаторов, в которой для обеспечения соответствия цвета выходного светового потока встроенной системы освещения требованиям отраслевого стандарта, а также цвета и коэффициента адаптации требованиям государственного стандарта проведено макетирование УКС и исследование двух подходов.

1. Универсальный подход заключается в применении источника света белого свечения (широкополосный источник света), как правило, не адаптированного для работы совместно с приборами ночного видения, в сочетании со светофильтрами, поглощающими оптическое излучение справа и слева по отношению к требуемой цветовой полосе спектра излучения. Такой подход обладает рядом преимуществ: унификация источника света и использование любых способов управления яркостью встроенного освещения, что является привлекательным для проведения ремонтных работ ранее разработанных систем, модернизации отдельных блоков комплекса бортового оборудования (КБО) и т.п.

Однако при этом имеет место повышенное значение энергопотребления, сокращение ресурса работы системы встроенного освещения и удорожание производства и эксплуатации изделия.

Жесткие требования по энергопотреблению и большой ресурс работы могут исключить применение универсального подхода при проектировании систем встроенного освещения.

2. Корректирующий подход заключается в применении источников света определенного свечения (узкополосный источник света), как правило, адаптированного (частично адаптированного) для работы с приборами ночного видения, в сочетании с корректирующими светофильтрами, избирательно поглощающими оптическое излучение справа или слева по отношению к требуемой цветовой полосе спектра излучения. Введение типа частично адаптированного источника света целесообразно в силу особенностей применения или расположения светодиодной системы освещения на объекте; обычно это источники света, коэффициент адаптации которых превышает максимально допустимую величину на 20–25%. Такое превышение бывает допустимым в частных случаях применения оборудования в составе КБО.

Корректирующий светофильтр выбирается из условий минимального спектрального поглощения в требуемой полосе пропускания и избирательного поглощения справа или слева от полосы. Интегральное поглощение корректирующего

светофильтра много меньше (порядка 10–15%) по отношению к светофильтру универсального подхода, при этом не исключается возможность полного отказа от применения корректирующего светофильтра в случаях согласования параметров с потребителем или коррекции на 5–10 нм спектра излучения светодиода по согласованию с заводом-производителем. Особенностью данного подхода, в случае использования в составе встроенной системы освещения светодиодов разного света, является необходимость обеспечения управления яркостью освещения с помощью широтно-импульсной модуляции (ШИМ). ШИМ позволяет исключить влияние типа полупроводниковой структуры, которая для каждого светодиода определенного цвета своя, на порог включения светодиода – начало линейной части зависимости силы тока от напряжения питания.

Второй подход является менее затратным с точки зрения энергопотребления и стоимости готового изделия.

Энергетическую эффективность универсального подхода можно оценить, рассмотрев спектр излучения светодиода белого света и спектра излучения выходного излучения. На рис. 1 приведены спектры излучения светодиода белого света (1) и спектр выходного излучения (2), получаемый установкой светофильтра, пропускающего излучение зеленой области видимого спектра. Области (А) характеризуют потери оптического излучения при фильтрации, вызванные необходимостью обеспечить цвет выходного потока, а область (Б) характеризует потери, вызванные необходимостью подавления

оптического излучения в части красной области и ближней ИК-области спектра электромагнитного излучения – области запрета (Г). В процессе проведения исследований применялись светодиоды двух российских предприятий с одинаковыми светоэнергетическими характеристиками, в одинаковых корпусах, при рабочем токе 7 мА. В комбинации со светофильтром поглощения только один из них обеспечил требуемую яркость выходного потока, при том, что сам обладал существенно меньшим рабочим ресурсом, чем другой образец. Увеличение рабочего тока до 12 мА позволило решить задачи яркости, однако был превышен предельный уровень потребляемого тока, установленный техническим заданием на проектирование встроенной системы освещения знаков и надписей.

Рассматривая в качестве источника излучения светодиод белого света (рис. 2), следует обратить внимание, что выбор светодиода по цветовой температуре может несколько упростить решение задачи по формированию характеристик результирующего светового потока. Компания «Оптоган» производит светодиоды белого света с пятью величинами цветовой температуры: 2700К, 3000К, 4000К, 5000К и 6500К, при этом для светодиодов с определенной цветовой температурой предлагает 16 оттенков – областей на цветовой диаграмме с указанием допустимых границ цветовых координат белого света.

Для решения задач световой индикации в рамках универсального подхода достаточно учитывать при выборе светодиода его цветовую температуру. Формирование Белого, Синего, Зеленого цветов

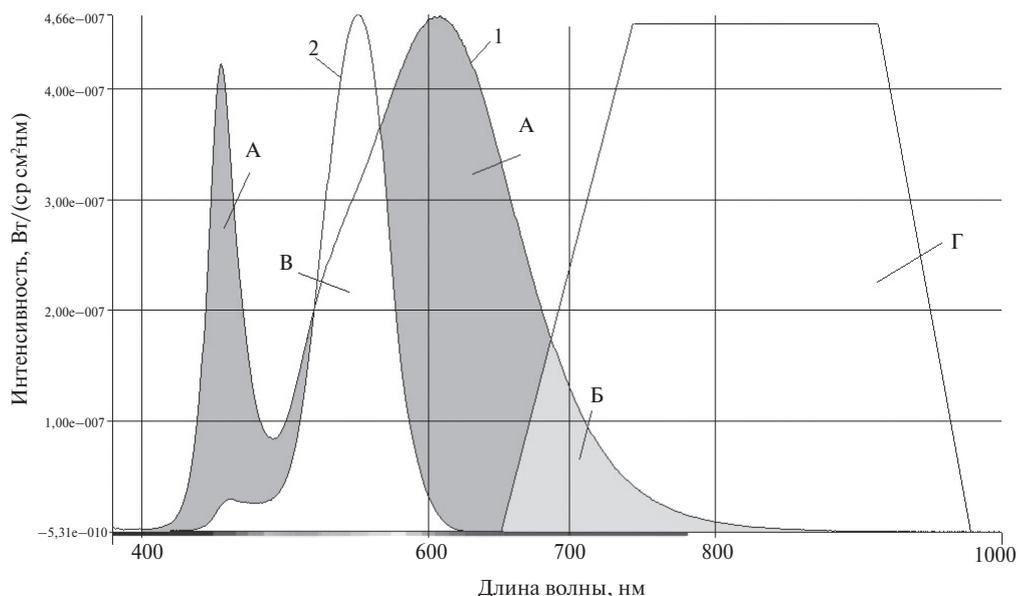


Рисунок 1. Формирование выходного излучения установкой зеленого светофильтра перед светодиодом белого света: 1 – спектр излучения светодиода белого света; 2 – спектр пропускания зеленого светофильтра, А и Б – области потерь оптического излучения, В – спектральная область выходного излучения, Г – область запрета электромагнитного излучения

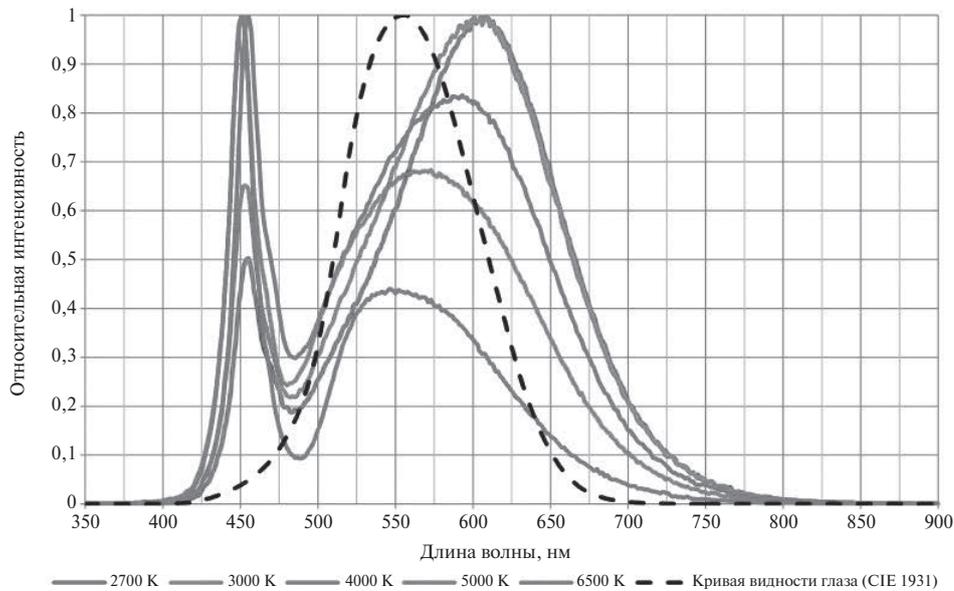


Рисунок 2. Спектр излучения белых светодиодов с различной цветовой температурой

эффективнее выполнять с помощью использования светодиодов с цветовой температурой более 5000К, для Желтого и Красного цветов – до 4000К. В этом случае несколько снижается уровень унификации источников света, основное же влияние на характеристики результирующего светового потока по-прежнему оказывают свойства светофильтра.

Энергетическую эффективность корректирующего подхода можно оценить, рассмотрев спектр излучения светодиода желтого света и спектра пропускания корректирующего зеленого светофильтра. Непосредственно источник света благодаря

отсутствию в ближней ИК-области излучения является адаптированным для работы совместно с приборами ночного видения, при этом его цветовая характеристика не попадает в требуемый локус на цветовой диаграмме, что подтверждается результатами измерений. На практике, если цветовая характеристика располагается рядом с границей локуса, достаточно установить светофильтр, корректирующий спектр излучения светодиода, сдвигая его в необходимом направлении. На рис. 3 показана комбинация желтого светодиода и зеленого светофильтра из органического стекла. Области (А)

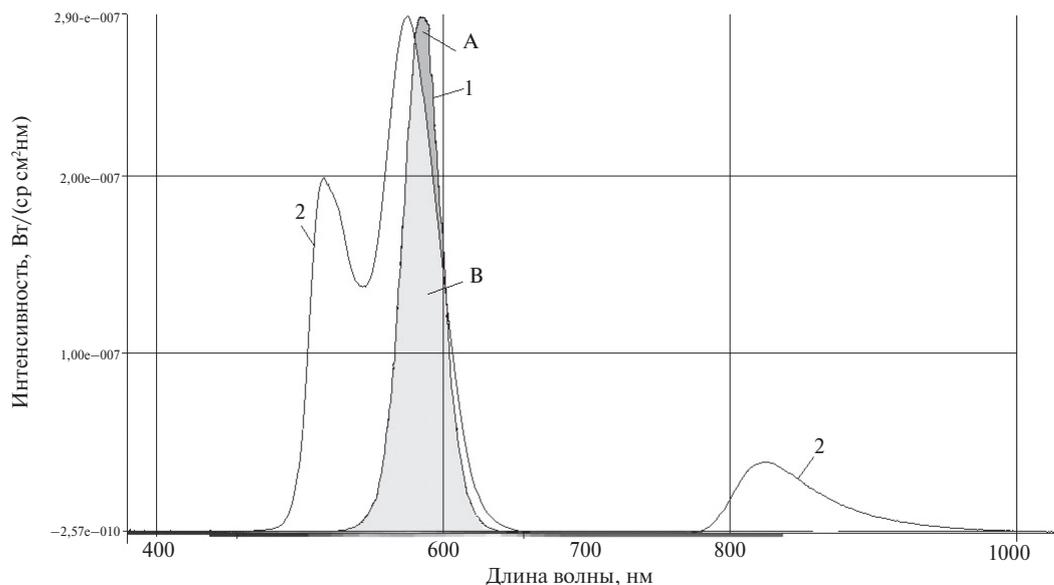


Рисунок 3. Формирование выходного излучения установкой зеленого светофильтра перед светодиодом желтого света: 1 – спектр излучения светодиода желтого света; 2 – спектр пропускания зеленого светофильтра, А – область потерь оптического излучения, В – спектральная область выходного излучения

характеризуют потери оптического излучения при фильтрации, вызванные необходимостью обеспечить коррекцию цветовой характеристики выходного потока.

В соответствии с техническими условиями используемых светодиодов максимальное значение тока для всего рабочего диапазона температур составляет 7 мА. При выбранном максимальном значении рабочего тока 7 мА, в комбинации со светофильтром поглощения были обеспечены соответствие цветových характеристик и адаптация выходного потока для работы совместно с приборами ночного видения. Увеличение рабочего тока до 10 мА позволило обеспечить запас по яркости при выполнении требований по соблюдению предельного уровня потребляемого тока, установленных техническим заданием, при несущественном уменьшении рабочего диапазона температур.

Применение в качестве корректирующих светофильтров оптического стекла [3] выявило высокую эффективность применения известных материалов, однако сложности в обработке стекла при изготовлении малоразмерных деталей обуславливают предпочтительное использование органического стекла в соответствии с ТУ 6-01-1210-79.

При проектировании светодиодной системы встроенного освещения надписей и светосигнализаторов прежде всего необходимо учитывать ресурс светодиодов и ограничения по уровню потребляемого тока. Использование узкополосного адаптированного или частично адаптированного источника света позволяет решать задачу проектирования с использованием меньших затрат при изготовлении системы, при этом позволяет максимально использовать ресурс светодиода.

Проведенные работы выявили возможность создания светодиодных систем встроенного освещения, адаптированных для работы с приборами ночного видения, полностью на отечественной элементной базе. При проектировании систем встроенного освещения могут быть реализованы оба подхода к проектированию, однако второй подход позволяет с меньшим количеством затрат

обеспечивать соответствие жестким требованиям по величине тока потребления и максимально использовать ресурс светодиода.

В результате исследований установлено, что корректирующие фильтры требуются для желтого, красного и белого светодиодов, при этом работы по проектированию новых полупроводниковых структур излучателей и непосредственно светодиодов продолжаются, что определяет конструкторско-технологический задел для появления светодиодов, которые позволят полностью отказаться от использования светофильтров в конструкции систем встроенного освещения. Корректирующий подход при решении метрологических вопросов может быть реализован практически на любом механическом производстве или приборостроительном предприятии без привлечения новых технологий.

### Заключение

Анализ ряда современных и вновь разрабатываемых КБО различного назначения выявил ШИМ в качестве основного метода управления светодиодами источниками встроенного освещения, что является дополнительным стимулирующим фактором к поиску новых структур и материалов для создания новых светодиодов с более высоким показателем преобразования электрической энергии в световую, реализующих требования по цветности выходного излучения систем освещения в соответствии с отраслевым и государственным стандартами и обеспечивающих адаптацию систем встроенного освещения надписей и знаков для работы с приборами ночного видения.

Выявленная в результате исследований тенденция по адаптации систем встроенного освещения позволяет рассматривать в качестве основного решения задач проектирования, в том числе и импортозамещения светотехнического оборудования, – сокращение количества цветов, применяемых в авиационной технике, путем создания необходимого количества светодиодных источников, излучение которых адаптировано для работы с приборами ночного видения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Night Vision Goggles in Civil Helicopter Operations. Australian Transport Safety Bureau (ATSB), PO Box 967, Civic Square ACT 2608. April 2005, 56 p. Available at: <http://www.atsb.gov.au>
2. Salazar G., Temme L., C. J. Antonio. Civilian use of night vision goggles. Aviation, Space and Environmental Medicine, 2003, vol. 74, no. 1, p. 79–84.
3. Цветное оптическое стекло и особые стекла: каталог / под ред. чл.-корр. АН СССР, д.х.н., проф. Г. Т. Петровского. М.: Дом оптики, 1990. 227 с.

### REFERENCES

1. Night Vision Goggles in Civil Helicopter Operations. Australian Transport Safety Bureau (ATSB), PO Box 967, Civic Square ACT 2608. April 2005, 56 p. Available at: <http://www.atsb.gov.au>

2. Salazar G., Temme L., C. J. Antonio. Civilian use of night vision goggles. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 2003, vol. 74, no. 1, p. 79–84.
3. *Cvetnoe opticheskoe steklo i osobyе stekla. Katalog* [Color optical glass and special glass. Catalog]. In: chl.-korr. AN SSSR, d.h.n., professor G. T. Petrovskiy, ed. Moscow, Dom optiki Publ., 1990, 227 p. (In Russian).

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Батуринец Андрей Александрович**, главный конструктор СКТБ, АО «Научно-производственный комплекс “ЭЛАРА” имени Г.А. Ильенко» (АО «ЭЛАРА»), 428017, Чебоксары, Московский пр-т, д. 40, тел.: 8 (352) 22-11-57, e-mail: sktb@elara.ru.

**Макаров Дмитрий Николаевич**, инженер-конструктор, АО «Научно-производственный комплекс “ЭЛАРА” имени Г.А. Ильенко», 428017, Чебоксары, Московский пр-т, д. 40, тел.: 8 (352) 22-11-57, e-mail: sktb@elara.ru.

**Полутов Андрей Геннадьевич**, к.т.н., главный конструктор тематического направления, АО «Научно-производственный комплекс “ЭЛАРА” имени Г.А. Ильенко», 428017, г. Чебоксары, Московский пр-т, д. 40, тел.: 8 (352) 22-11-56, e-mail: sktb@elara.ru.

### AUTHORS

**Baturinets Andrey**, chief designer SKTB, The Ilyenko ELARA research and production complex, 40, Moskovskiy prospekt, Cheboksary, 428017, Russian Federation, tel.: +7 (352) 22-11-57, e-mail: sktb@elara.ru.

**Makarov Dmitriy**, design engineer, The Ilyenko ELARA research and production complex, 40, Moskovskiy prospekt, Cheboksary, 428017, Russian Federation, tel.: +7 (352) 22-11-57, e-mail: sktb@elara.ru.

**Polutov Andrey**, PhD, chief designer, The Ilyenko ELARA research and production complex, 40, Moskovskiy prospekt, Cheboksary, 428017, Russian Federation, tel.: +7 (352) 22-11-56, e-mail: sktb@elara.ru.