

# Дальность видимости сигнальных светодиодных огней

В. И. АНИСИМОВ<sup>1</sup>, В. П. БУДАК<sup>2</sup>, В. В. ЖУКОВ<sup>1</sup>, Г. А. КАЛОШИН<sup>3</sup>,  
С. А. ШИШКИН<sup>3</sup>

<sup>1</sup> НИИ «ЭКРАН», Самара;

<sup>2</sup> НИУ «МЭИ», Москва;

<sup>3</sup> Институт оптики атмосферы им. В. Е. Зуева СО РАН, Томск

E-mail: gkaloshin@iao.ru

## Аннотация

Приводятся результаты расчётов минимально необходимой для уверенного зрительного обнаружения силы света сигнальных светодиодных огней (СДО) взлётно-посадочной полосы (ВПП) в реальных условиях эксплуатации. Рассмотрены основные варианты СДО ВПП: входные; посадочные последних 600 м ВПП; ограничительные. Выбраны пороговые уровни обнаружения, дан анализ эффективности СДО ВПП в различных метеоусловиях ночью, в сумерках и днём, а также рассмотрены вопросы ступенчатой регулировки силы света СДО на 1, 3, 10, 30 и 100% в соответствии с нормами ИКАО (по результатам расчёта и анализа).

**Ключевые слова:** дальность видимости, сигнальные светодиодные огни, взлётно-посадочная полоса, пороговая освещённость, сила света, метеорологическая дальность видимости.

## 1. Введение

Применение светодиодов в светосигнальных огнях — наиболее передовое направление развития средств ориентирования и сигнализации транспортных средств. Это делает возможным создание новых светосигнальных систем, реализуемых на

светодиодных огнях (СДО), способных заменять энергозатратные и трудоёмкие в эксплуатации огни высокой интенсивности с обеспечением посадки самолётов в условиях I категории ИКАО.

Понимая перспективы развития светодиодных источников света, в авиации уделяется большое внимание их внедрению в светосигнальное оборудование аэропортов. В настоящее время в рамках совершенствования светотехнического оборудования аэродромов происходит глубокая модернизация имеющегося данного оборудования на взлётно-посадочных полосах (ВПП). При этом основной целью служит повышение эффективности и надёжности светосигнальных приборов, улучшение их светотехнических параметров (дальность видимости и различимость сигнальных показаний). Это ведёт к повышению безопасности полётов, снижению эргономической и психофизиологической нагрузок на экипаж при выполнении ответственных этапов полёта — взлёта и посадки.

Ниже приведены результаты расчётных оценок эффективности СДО ночью, в сумерках и днём в условиях плотных атмосферных дымок и тумана. При этом основное внимание уделено оценкам минимально необходимой для зрительного обнаружения

силы света СДО в реальных условиях эксплуатации.

## 2. Расчёт силы света

Вопросы зрительного восприятия групповых огней и методика расчёта параметров прямого и рассеянного излучений достаточно подробно рассмотрены, например, в работах [1–4]. В данной статье расчёт потребной силы света СДО проводился по схеме, аналогичной принятой в работе [4] для лазерных излучателей. (Тем самым считается, что цветные СД (не белые) — классические некогерентные квазимонохроматические излучатели.)

### 2.1. Схема расположения и параметры СДО

Основой для расчёта параметров излучения СДО служила схема, приведённая на рис. 1. СДО делятся на три группы: входные, зелёные (ALG), расположенные вдоль порога ВПП перпендикулярно оси; посадочные, жёлтые (ALY), расположенные по обе стороны ВПП; ограничительные, красные (ALR), расположенные вдоль границы ВПП перпендикулярно оси с противоположной от порога стороны ВПП. Параметры СДО приведены в табл. 1.

### 2.2. Методика расчёта

Минимально необходимая для уверенного зрительного обнаружения сила света СДО  $I$  определяется: метеорологической дальностью видимости (МДВ)  $S_m$ ; яркостью фона адаптации глаза наблюдателя  $L_\phi$ ; пиковой длиной волны излучения  $\lambda$ ; пороговым блеском  $E_n$  для дневного, сумеречного или ночного зрения (соответственно условиям наблюдения СДО); расстоянием обнаружения СДО  $D$ , то есть  $I = f(S_m, L_\phi, \lambda, E_n, D)$ .

Принятые значения этих величин таковы:  $D = (1,0–1,6)$  км при  $S_m = (0,8–10)$  км;  $L_\phi = (10^{-2}–10)$  кд/м<sup>2</sup> (сумерки),  $(10^{-4}–10^{-2})$  кд/м<sup>2</sup> (ночь) и  $(10–10^3)$  кд/м<sup>2</sup> (день).

В общем случае расчёт  $I$  СДО сводился к следующему:

- Задавались энергетические характеристики СДО,  $S_m$ , пороговые характеристики зрения и геометрия схемы размещения СДО и наблюдателя.

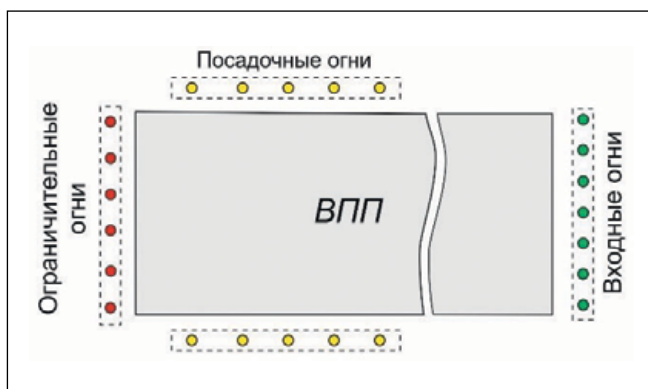


Рис. 1. Схема размещения СДО

Параметры излучения СДО

Параметр	Группа СДО		
	ALG	ALY	ALR
Сила света, кд	10000	10000	2500
Пиковая длина волны, мкм	0,53	0,58	0,62
Тип излучения	непрерывный		

• Рассчитывалась  $I$  (осевая) одиночного СДО из каждой группы СДО при разных его энергетических и спектральных характеристиках и условиях зрения (видимости). Расчёт вёлся в приближении однократного рассеяния излучения.

В качестве рассеивающей среды были выбраны континентальная атмосфера, характеризующаяся метеорологической дальностью видимости  $S_m$ , морская и прибрежная атмосфера, характеризующаяся скоростью и направлением ветра, разгоном волн, относительной влажностью, высотой, спектральным диапазоном излучения и диапазоном размеров частиц – это входные параметры для подпрограммы «MaexPro» [5–10]. Результат вычислений – спектральный коэффициент аэрозольного ослабления  $\sigma(\lambda)$ , равный  $3,92/S_m$ , и индикатриса рассеяния. Отметим, что основные энергетические потери оптического сигнала видимого диапазона при его распространении в приземном слое атмосферы во многом обусловлены аэрозольным ослаблением. Различия между коэффициентами аэрозольного ослабления и рассеяния не выходят за рамки инструментальных погрешностей. При этом, коэффициент аэрозольного поглощения в «MaexPro» определяется мнимой частью комплексного показателя преломления.

Дальнейший расчёт вёлся с помощью программы «Range» [11, 12], которая позволяет рассчитывать энергетическое ослабление излучения лазерных, светодиодных и «традиционных» источников света с учётом аэрозольного ослабления на трассах в приземном слое континентальной, морской и прибрежной атмосфер.

В качестве пороговых характеристик зрения для ночных и сумеречных условий наблюдения в статье были

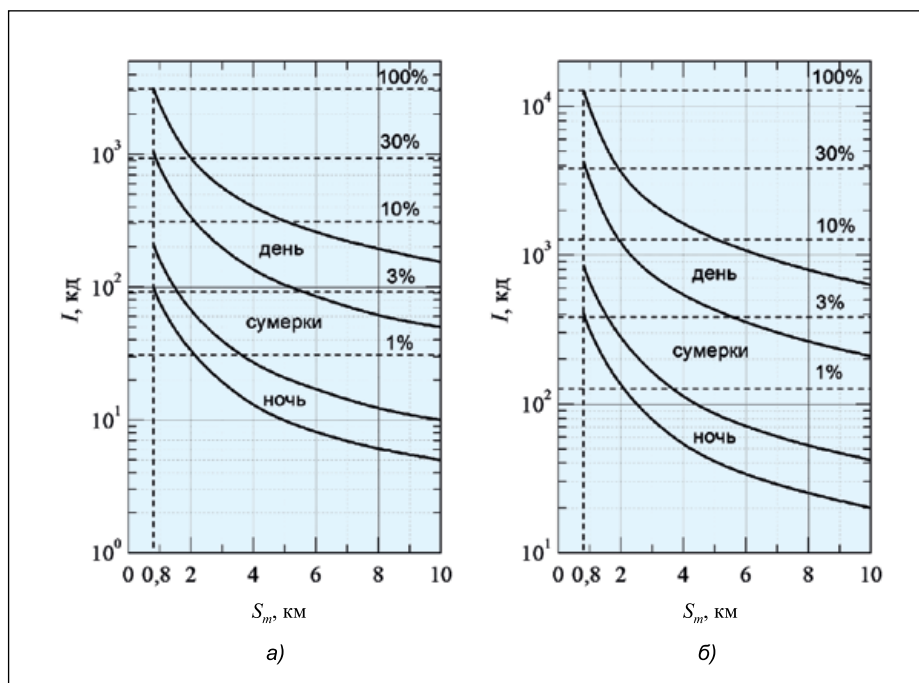


Рис. 2. К определению силы света  $I$  входных (зелёных) СДО на удалениях от порога ВПП 1 (а) и 1,6 (б) км

использованы нормативные данные ИКАО с учётом отечественных норм, как принятых в ГОИ, так и используемых при проектировании зрительных средств навигационного оборудования, с учётом рекомендаций УНИО МО РФ и МАМС [13–17].

Расчёт  $I$  одиночного СДО соответствующей группы СДО в зависимости от  $S_m$  осуществлялся в приближении однократного рассеяния по выражению

$$I = kE_n K_m V(\lambda) D^2 e^{3,92D/S_m} \times \left[ 1 + \frac{3,92D}{S_m} \int_0^{\pi/2} x(\varphi) d\varphi \right]^{-1},$$

где  $k$  – коэффициент запаса, равный 50 [1];  $E_n$  – пороговая освещённость, Вт/м<sup>2</sup>;  $K_m$  – максимальная спектраль-

ная световая эффективность для дневного, сумеречного или ночного зрения (соответственно условиям наблюдения СДО), лм/Вт;  $V(\lambda)$  – функция относительной спектральной световой эффективности для дневного, сумеречного или ночного зрения (соответственно условиям наблюдения СДО) [2, 3];  $D$  – расстояние между СДО и наблюдателем, м;  $S_m$  – метеорологическая дальность видимости, м;  $x(\varphi)$  – индикатриса рассеяния. При этом  $V(\lambda)$  для сумеречного зрения считалась как среднее  $V(\lambda)$  для дневного и ночного зрения.

### 3. Результаты расчётов

#### 3.1. Входные СДО

На рис. 2 приведены результаты расчёта  $I$  от  $S_m$  одиночного СДО из

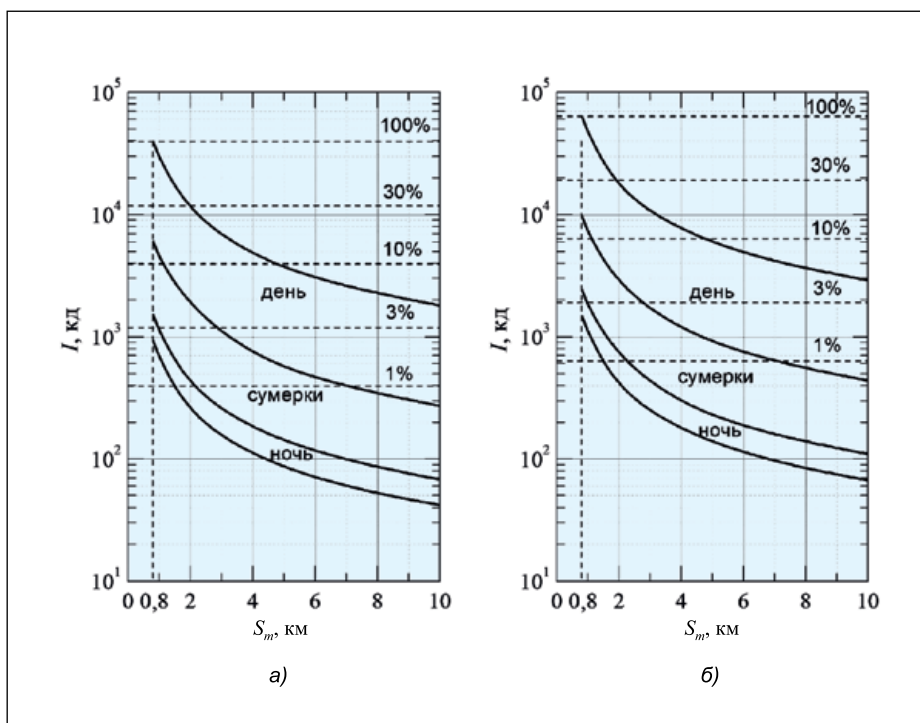


Рис. 3. К определению силы света / посадочных (жёлтых) СДО на удалениях от порога ВПП 1 (а) и 1,6 (б) км

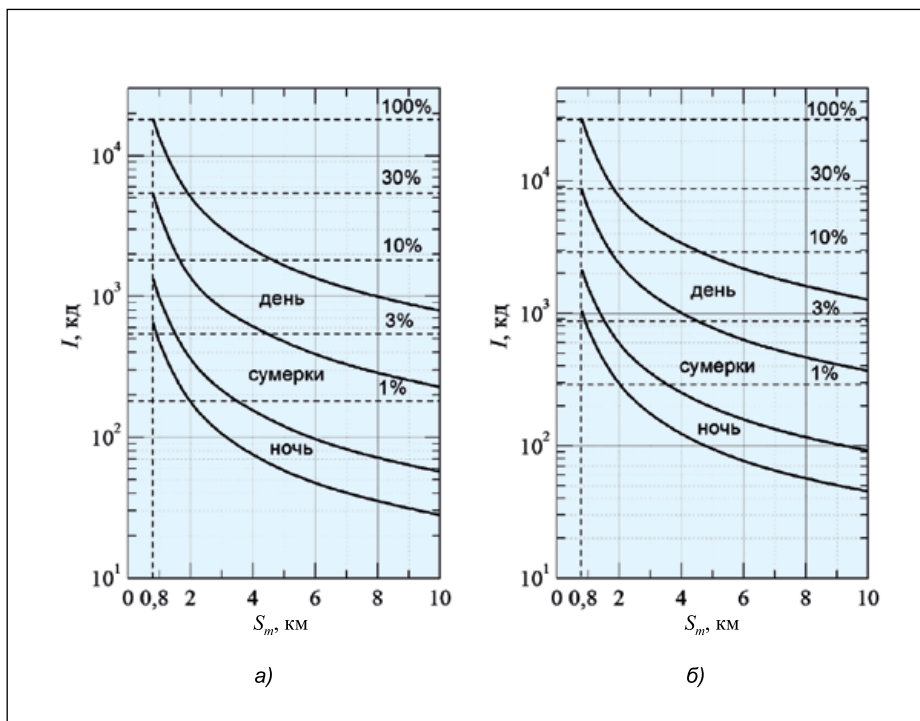


Рис. 4. К определению силы света / ограничительных (красных) СДО на удалениях от порога ВПП 1 (а) и 1,6 (б) км

группы входных (зелёных) СДО в зависимости от  $S_m$  при  $D = 1$  и  $1,6$  км и разных фоновых условиях зрения (дневного, сумеречного или ночного), определяемых  $L_\phi$ . Анализ этих результатов показывает, что  $I$ , равная  $10000$  кд, достаточна при задан-

ных  $D$  и всех условиях наблюдения кроме дневных при  $S_m = 0,8$  км и  $D = 1600$  м. Следовательно, сила света всей группы входных СДО заведомо достаточна. При этом для ночных и сумеречных условий наблюдения данная  $I$  избыточна.

### 3.2. Посадочные СДО

На рис. 3 приведены результаты аналогичного расчёта для посадочных (жёлтых) СДО. Их анализ тоже показывает, что  $I$ , равная  $10000$  кд, достаточна при заданных  $D$  и всех условиях наблюдения кроме дневных при  $S_m = 0,8$  км и  $D = 1600$  м. Сила света всей группы посадочных СДО заведомо достаточна. Для ночных же и сумеречных условий наблюдения данная  $I$  избыточна.

### 3.3. Ограничительные СДО

На рис. 4 приведены результаты аналогичного расчёта для ограничительных (красных) СДО. Анализ и этих результатов показывает, что  $I$ , равная  $2500$  кд, избыточна при ночных и сумеречных условиях наблюдения и данных  $D$ . Тем более избыточна сила света группы ограничительных СДО. При дневных же условиях при  $S_m \leq 2$  км  $I$  в данном случае недостаточна.

### 4. Обсуждение результатов

Приведённые результаты позволяют сделать следующие основные выводы и рекомендации по  $I$  и её ступенчатой регулировке в соответствии с нормами ИКАО. Расчётные данные, приведённые на рис. 2–4 позволяют учитывать большие различия в  $L_\phi$  и, таким образом, определять требуемые значения  $I$ , охватывая три широкие категории – дневных, сумеречных и ночных – условий зрения (наблюдения). Видно, что четыре кривые разграничивают три диапазона, определяющие дневные, сумеречные и ночные условия. Самая верхняя кривая (день) соответствует  $L_\phi$   $10000$  кд/м<sup>2</sup> и соответствующей пороговой освещённости. Следующая кривая (граница между дневным и сумеречным временем суток) соответствует  $L_\phi$   $1000$  кд/м<sup>2</sup>. Третья кривая (граница между сумерками и ночным временем суток) соответствует  $L_\phi$   $1$  кд/м<sup>2</sup>, а самая нижняя кривая –  $L_\phi$   $10^{-2}$  кд/м<sup>2</sup> (тёмная ночь).

На рис. 2–4:

- все кривые имеют приблизительно один и тот же условный наклон, означающий, что потребная  $I$  при  $S_m = 10$  км, составляет  $1/30$  силы света, требуемой при  $S_m = 0$  км. Следовательно, для любого СДО при

Рекомендуемая сила света СДО при трёх условиях видимости в процентах от её номинальных значений у СДО всех групп

$S_m$ , км	Ступени силы света СДО, %		
	Ночь	Сумерки	День
6–4	1	3	10
4–2	1	10	30
2–1	3	30	30
менее 1	10	30	100

любых известных условиях можно начертить три кривые, если известна соответствующая потребная сила света при  $S_m = 0$  км. Таким образом, на практике кривая границы экстремальных условий в дневное время суток заканчивается не в точке нулевой видимости, а где дальность видимости равна 1,5 км, но наклон кривых соответствует общему случаю;

- интервал между кривыми по вертикали (ширина диапазонов для дневного времени, сумерек и ночного времени на рисунках) постоянен для всех групп (категорий) СДО в пределах данного диапазона. Поэтому диапазон дневного времени приблизительно в 1,5 раза шире диапазона ночного времени, а диапазон сумерек вдвое шире диапазона дневного времени;

- в реальных условиях эксплуатации одновременно наблюдаются как СДО приближения, так и СДО ВПП. При этом яркие СДО кажутся более близкими. Поэтому для правильной оценки пилотом высоты и расстояния при выполнении захода на посадку важную роль играет правильная сбалансированность силы света СДО, которая обеспечивается ступенчатой регулировкой в соответствии с нормами ИКАО. Для всех групп СДО предусмотрено пять ступеней регулировки в соотношении 1:3, а именно 100, 30, 10, 3 и 1% от номинального значения силы света. На рис. 2–4 справа приведены ступени регулировки в виде шкалы установочных значений силы света СДО.

Такое соотношение выбрано, исходя из особенностей зрительного восприятия и его адаптации к изменению яркости. Известно, что связь

между световым стимулом и ощущением определяется законом Вебера-Фехнера, являясь логарифмической зависимостью [1]. Чтобы зрительно ощутить разницу, например, вдвое по яркости СДО, соотношение по силе света СДО должно быть порядка 1:3.

На основании проведённых расчётов в зависимости от условий видимости на ВПП рекомендуется устанавливать ступени силы света СДО в соответствии со значениями, указанными в табл. 2. В дневных условиях такая регулировка не требуется.

## 5. Выводы

1. Сила света (осевая) одиночного СДО из числа входных (зелёных) и посадочных (жёлтых) СДО, равная 10000 кд, достаточна при указанных  $D$  (от порога ВПП) при всех условиях наблюдения кроме дневных при  $S_m = 0,8$  км и  $D = 1,6$  км. Тем более она достаточна для группы СДО. При этом при ночных и сумеречных условиях наблюдения данная сила света избыточна.

2. Сила света одиночного СДО из числа ограничительных (красных) СДО, равная 2500 кд, избыточна при ночных и сумеречных условиях наблюдения при указанных  $D$  (от порога ВПП). При дневных же условиях наблюдения при  $S_m \leq 2$  км данная сила света недостаточна.

3. Для входных, посадочных и ограничительных СДО в ночных и сумеречных условиях наблюдения существует необходимость в ступенчатой регулировке силы света, в дневных условиях такая регулировка не требуется.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Минобрнауки России – проект № 14.604.21.0042.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Забелина И.А. Расчёт видимости звёзд и далёких огней. – Л.: Машиностроение, 1973. – 184 с.
2. Мешков В.В., Матвеев А.Б. Основы светотехники. Ч. 2. Физиологическая оптика и calorиметрия. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 432 с.
3. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Знак, 2006. – 972 с.
4. Калошин Г.А., Матвиенко Г.Г., Шишкин С.А., Анисимов В.И., Бутузов В.В., Жуков В.В. Эффективность работы лазерной подсистемы посадки самолётов на ВПП в реальных условиях эксплуатации // Оборонная техника. – 2014. – № 1–2. – С. 81–87.
5. Kaloshin G.A., Matvienko G.G. Aerosol Microphysical Model of the Marine and Coastal Atmosphere Surface Layer for Calculation of Extinction in Visible and IR Radiation Wave Band // Proc. 5th Asian Aerosol Conf., Aug. 26–29, 2007. Kaohsiung, Taiwan, 2007. – P. 1121–1123.
6. Kaloshin G.A., Matvienko G.G. Aerosol Model Development for Environmental Monitoring in the Coastal Atmosphere Surface Layer // Proc. International Conference on Lasers, Applications, and Technologies (ICONO/LAT 2007), Minsk, Belarus, May 28–June 1, 2007. – P. 51.
7. Piazzola J., Kaloshin G. Performance evaluation of the coastal aerosol extinction code “MEDEX” with data from the Black Sea // Journal of Aerosol Science. – 2005. – Vol. 36, № 3. – P. 341–359.
8. Kaloshin G.A., Grishin I.A. An Aerosol Model of the Marine and Coastal

Atmospheric Surface Layer // Atmosphere-Ocean. — 2011. — Vol. 49, № 2. — P. 112–120.

9. *Калошин Г.А., Шишкин С.А.* Программа для расчёта комплексных показателей преломления вещества частиц морского и прибрежного аэрозоля MieCalc / Свидетельство о госрегистрации программы для ЭВМ № 2012616943, зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 03.08.2012. — 26 с.

10. *Калошин Г.А., Шишкин С.А.* Программа для расчёта спектральных коэффициентов аэрозольного ослабления в приземном слое морской и прибрежной атмосферы MaexPro / Свидетельство о госрегистрации программы для ЭВМ № 2012616945, зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 03.08.2012. — 68 с.

11. *Kaloshin G.A., Shishkin S.A.* Detectable distance calculations for a visual navigation system using a scanning semiconductor laser with electronic pumping // Appl. Optics. — 2011. — Vol. 50, № 20. — P. 3442–3448.

12. *Калошин Г.А., Шишкин С.А.* Программно-технологический пакет Range для проведения расчётов распространения оптического излучения с учётом аэрозольного ослабления в приземном слое континентальной, морской и прибрежной атмосферы / Св-во о госрегистрации программы для ЭВМ № 2012616944, зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 3.08.2012. — 83 с.

13. Руководство по проектированию аэродромов. Часть 4. Визуальные сред-

ства. *Doc9157 AN/901.* Издание четвёртое, июль 2004 г.

14. *Луизов А.В.* Глаз и свет. — Л.: Энергоатомиздат, ЛО, 1983. — 144 с.

15. *Климук П.И., Забелина И.А., Гоголев В.А.* Визуальные наблюдения и загрязнение оптики в космосе. — Л.: Машиностроение, ЛО, 1983. — 224 с.

16. The IALA Naviguide. 5<sup>th</sup> ed. 2006.

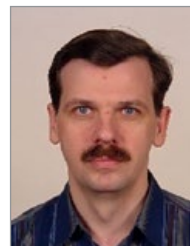
17. Инструкция по навигационному оборудованию (ИНО-2000). — СПб: ГУ-НИО МО РФ, 2001. 328 с.



**Анисимов Вячеслав Иванович,** кандидат физ.-мат. наук, доцент. Окончил в 1973 г. Куйбышевский авиационный институт им. С.П. Королёва по специальности «Самолётостроение». Начальник лаборатории НИИ «ЭКРАН», Самара



**Будак Владимир Павлович,** доктор техн. наук, профессор. Окончил в 1981 г. МЭИ. Профессор кафедры «Светотехника» НИУ «МЭИ». Член редколлегии журнала «Светотехника»



**Жуков Владимир Валентинович,** инженер-радиотехник. Окончил в 1988 г. Куйбышевский авиационный институт им. С.П. Королёва по специальности «Радиотехника».

Начальник лаборатории НИИ «ЭКРАН», Самара



**Калошин Геннадий Александрович,** кандидат физ.-мат. наук. Окончил в 1972 г. Томский государственный университет по специальности «Радиофизика и квантовая электроника». Ведущий научный сотрудник Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск

Ведущий научный сотрудник Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск



**Шишкин Сергей Александрович,** инженер-конструктор. Окончил в 2000 г. Томский университет систем управления и радиоэлектроники. Научный сотрудник Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск

оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск

## «БЛ ГРУПП» и Министерство инфраструктуры Ирана договорились о сотрудничестве

В середине июля заместитель генерального директора по развитию стратегических и международных проектов ООО Управляющая компания «БЛ ГРУПП» Михаил Крыжов и руководитель проектов Александр Бордюжа посетили Исламскую Республику Иран с деловым визитом. При содействии торгового представительства РФ при посольстве РФ в Исламской Республике Иран в Тегеране были организованы три встречи.

Встреча с представителями бизнес-сообществ прошла в зале приёмов гостиницы «Эспинас».

На переговорах в мэрии, на которых присутствовал директор управления по освещению и городскому экстерьеру организации по благоустройству города при мэрии Тегерана, российская делегация рассказала об основных проектах в области уличного и архитектурного освещения, сделав акцент на новых разработках – светильниках GALAD «Кордоба LED» и GALAD «Урбан LED».

Представители мэрии высказали большой интерес к сотрудничеству с холдингом «БЛ ГРУПП». В настоящий момент рассматриваются варианты реализации пилотных проектов.

Переговоры с топ-менеджментом компании CDTIC, организации при Министерстве инфраструктуры Ирана, затронули темы совместных проектов в области строительства и модернизации объектов инфраструктуры на территории всей страны.

## «БЛ ГРУПП» провёл переговоры с индийским министром Судешом Сингхом Раватом

В июле в городе Пушкар (округ Аджмер, штат Раджастан, Индия) состоялась встреча представителей холдинга «БЛ ГРУПП» и правительства штата Раджастан. В частности, в переговорах принял участие министр по делам парламента штата Раджастан Судеш Сингх Рават. Встреча состоялась по инициативе индийской стороны.

Делегацию из России возглавил руководитель проектов департамента стратегических и международных проектов ООО Управляющая компания «БЛ ГРУПП» Андрей Ушаков. В состав, помимо коллег из зарубежного подразделения BL Trade India Private Limited, вошли арт-директор Карстен Винкельс и ведущий инженер-проектировщик ООО «Светопроект» Александр Фотин.

Участники обсудили перспективы сотрудничества в сфере уличного, садово-паркового и архитектурного освещения в Нью-Дели, Мумбае и других городах. После плодотворных переговоров российская делегация и индийские коллеги отправились на священное озеро Пушкар, где состоялась пресс-конференция.

В рамках выступления на мероприятии для индийских СМИ министр Судеш Сингх Рават подчеркнул, что им бы очень хотелось украсить храмы и озера штата Раджастан в соответствии с международными стандартами и что холдинг «БЛ ГРУПП» является именно той компанией, которой бы они хотели поручить данный проект.