

## КЛАССИФИКАЦИЯ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ИМИТАТОРОВ

Трудно переоценить влияние солнечной радиации на процессы протекающие в природной и техногенной средах, поэтому испытаниям на воздействие солнечного излучения подвергают изделия и материалы от самых простейших до космических аппаратов и их систем [1]. Проведение испытаний в натуральных условиях часто оказывается невозможно или слишком дорого по причинам сложности поддержания одних и тех же условий при проведении серии экспериментов; работы в режиме реального времени, что неоправдано удлиняет сроки испытаний [2]. Эти трудности многократно возрастают при комбинированных воздействиях.

С другой стороны имитация как абсолютных значений плотности мощности потока солнечного излучения, так и его спектрального распределения на площади  $\sim 100 \text{ см}^2$ , на которой можно было бы разместить испытуемый образец, изделие или модель аппарата связано с крупными энергозатратами. Так промышленный имитатор Солнца [3] с газоразрядной ксеноновой лампой с максимальным световым диаметром 120 мм потребляет от сети 15 кВт, хотя и имеет погрешность имитации солнечного спектра  $\pm 10\%$  в диапазоне длин волн 0,35...2 мкм. Конкретизация цели физического моделирования часто позволяет добиться адекватности модельной и реальной ситуации менее энергоемкими средствами.

В настоящее время можно ввести классификацию задач, каждая из которых предъявляет свои специфические требования к имитатору Солнца:

- Солнце как источник фотоиндуцируемых химических превращений [4];
- Солнце как источник радиационного нагрева [1];
- Солнце как источник фоновых помех [5];
- Солнце как маяк астронавигационных систем [6, 7];
- Солнце как источник электродвижущей силы фотопреобразователей [8];
- Солнце как источник биологически активного излучения.

Последняя проблема выходит за рамки настоящей работы.

Создание имитатора для решения любой из вошедших в классификационный список задач, как правило, не требует воссоздания солнечного спектра во всем исследованном диапазоне 0,14...300 мкм и достижения интегральной плотности потока солнечной радиации на уровне солнечной постоянной 135,5 мВт/см<sup>2</sup> [9]. Экспериментальными исследованиями механизмов фотоокрашивания покрытий с наполнителями из неорганических пигментов ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{PbCO}_3$ ,  $\text{ZnO}$  и др.) доказано, что на их протекание основное влияние оказывает "жесткая" часть ультрафиолетового излучения (0,2...0,3 мкм) в световом пучке [4]. В этой спектральной области лучшим имитатором спектра Солнца является ксеноновая лампа ДКиР. Расхождение спектров Солнца и лампы ДКиР в длинноволновой области ( $\geq 0,4$  мкм) несущественны в связи с ее слабой фотоактивностью. Присутствие ультрафиолетовой части спектра в пределах от 280 нм до 400 нм с плотностью потока  $\leq 100 \text{ Вт/м}^2$  также необходимо и при испытаниях радиоаппаратуры [10]. В области "жесткого" ультрафиолета лампы накаливания неэффективны и вряд ли могут составить конкуренцию газоразрядным и дуговым источникам света.

В общем виде поглощенный элементарной площадкой  $d\sigma_2$  квазимонохроматичный лучистый поток, создаваемый элементарной площадкой источника  $d\sigma_1$  в дифференциальной форме определяется выражением:

$$d^3F_{\text{пл}} = (B_\lambda \cos\varphi_1 d\sigma_1)(\alpha_\lambda \cos\varphi_2 d\sigma_2) d\lambda / r^2, \quad (1)$$

$B_\lambda$  - спектральная энергетическая яркость источника  $d\sigma_1$  в направлении площадки  $d\sigma_2$ ;  $\alpha_\lambda$  - спектральный коэффициент поглощения площадки  $d\sigma_2$  в направлении источника  $d\sigma_1$ ;  $\varphi_1$  - угол между радиусом-вектором, соединяющим площадки  $d\sigma_1$  и  $d\sigma_2$  и нормалью к изучающей площадке  $d\sigma_1$ ;  $\varphi_2$  - угол между тем же радиусом-вектором и нормалью к площадке  $d\sigma_2$  [1];  $r$  - длина радиуса-вектора.

Форма записи выражения (1) в виде произведения двух скобок удобна тем, что позволяет разделить члены, относящиеся в основном к источнику лучистого потока и к поглощающей его площадке.

Если учесть, что  $\alpha_\lambda$  и  $B_\lambda$  зависят не только от направлений, но и состояния поляризации, что задача как теоретических, так и экспериментальных оценок поглощенного образцом лучистого потока  $F_n$  без упрощающих предположений становится сложной. Удаленность Солнца и отсутствие поляризационной составляющей в его спектре приводит к следующим упрощениям выражения (1):

$$r = \text{const}_1; \quad \varphi_1 = \text{const}_2 \quad (2)$$

$$d^2 F_{n\lambda} = \alpha_\lambda \cos \varphi_2 d\sigma_2 d\lambda \int_{S_1} \frac{B_\lambda \cos \varphi_1}{r^2} d\sigma_1 = \alpha_\lambda E_\lambda \cos \varphi_2 d\sigma_2 d\lambda, \quad (3)$$

где -  $S_1$  - площадь поверхности Солнца;

$$E_\lambda = \int_{S_1} \frac{B_\lambda \cos \varphi_1}{r^2} d\sigma_2, \quad (4)$$

спектральная плотность энергетической освещенности, создаваемой Солнцем на расстоянии равном радиусу орбиты Земли. Значения  $E_\lambda$  в верхних слоях атмосферы и на поверхности Земли надежно установлены и приведены в справочной литературе [9, 12, 13].

Воссоздание  $E_\lambda$  в рабочей зоне является достаточным условием, предъявляемым к имитатору солнечного излучения для испытаний на радиационный нагрев, причем на диапазон 0,3...1,8 мкм приходится 90% излучаемого Солнцем потока [9]. Так же нет необходимости предъявлять жесткие требования к расходимости излучения, поскольку  $\cos 15^\circ = 0,966$ , и величина  $d^2 F_{n\lambda}$  мало меняется даже для такого сильно расходящегося потока. В случае же слабой зависимости  $\alpha_\lambda$  от  $\lambda$  вообще достаточно воспроизвести величину

$$E_o = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_\lambda d\lambda, \quad (5)$$

на уровне солнечной постоянной без строгой идентификации спектрального распределения. Поэтому простые осветители типа софитов с галогенными лампами являются вполне удовлетворительными имитаторами.

К задаче радиационного нагрева тесно примыкают и проблемы испытаний фотопреобразователей лучистого потока в электрическую энергию, т.к. требуемые для этого интегральные плотности потоков излучения соизмеримы с солнечной постоянной. Но и здесь наиболее распространенные фотоэлементы на основе кремния эффективны лишь при освещении их светом с длинами волн от 0,4 мкм до 1,1 мкм, достигая максимума коэффициента преобразования на 1 мкм [8]. В спектральном диапазоне 0,4...1,1 мкм интегральная энергетическая освещенность составляет уже не 135,5 мВт/см<sup>2</sup>, а 91,2 мВт/см<sup>2</sup>, а с учетом поглощения в слое атмосферы и того меньше. Поскольку электродвижущая сила фотоэлемента также изменяется по закону  $\cos^2$  от угла падения света, то жесткие требования к расходимости излучения не предъявляются. Максимум спектральной плотности силы излучения галогенных ламп накаливания приходится на область 1...1,2 мкм [4], что согласуется с максимумом коэффициента преобразования кремниевых фотоэлементов. Таким образом, имитатор Солнца с простыми в эксплуатации лампами накаливания в качестве источника излучения будет иметь характеристики, близкие к оптимальным.

При проверке астронавигационных приборов имитатор должен воспроизводить заданный уровень превышения сигнала над фоном в области спектральной чувствительности датчика и, для датчиков точной ориентации [7], угловые размеры Солнца (32 угл.мин) [15]. Чувствительными элементами датчиков служат кремниевые, германиевые или сернисто-кадмиевые фотодиоды и фотосопротивления. Максимум их спектральной чувствительности лежит в видимом или ближнем ИК диапазоне. Часто в датчиках Солнца с помощью красных и нейтральных светофильтров осуществляется амплитудная селекция излучения по мощности и спектру. Следовательно спектральное согласование имитатора с датчиком Солнца требуется лишь в относительно узкой области, а величина интегрального светового потока в согласованном интервале длин волн уменьшена на величину ослабления вносимого нейтральным светофильтром, естественно с одновременным его выведением из оптического тракта. Компактность тела накала малогабаритных галогенных ламп типа КГ-12х100 и КГ-24х150 [16] обеспечивает малые угловые размеры источника излучения.

Солнце как источник фоновых помех для оптико-электронных приборов активного типа с лазерными излучателями и спектральной селекцией отраженных сигналов можно имитировать теми или аналогичными лазерными излучателями с формирующей оптикой и ослабителями, чтобы получить уровни фоновых освещенностей на модели или ее части в соответствии с полосой пропускания ОЭП. При узкой 1...10 нм полосе пропускания эти уровни невелики и легко достижимы. От экспериментатора требуется лишь воспроизведение угловых положений в системе: имитатор - модель - ОЭП.

Для ОЭП пассивного типа, работающих по отраженному объектом солнечному излучению или собственному тепловому, важно соблюсти подобие спектральных распределений Солнца и имитатора, достижение же интегральной энергетической освещенностью значения солнечной постоянной не является обязательным условием. Основные параметры ОЭП - вероятности обнаружения и ложных тревог зависят от отношения сигнал/шум [5], обеспечение которого и является необходимым условием адекватности модельной ситуации и реальности. Часто достаточно отношение сигнал/шум 5...10. В лабораторных же условиях помехи могут составлять в среднем доли фотона за цикл измерения. Однако уменьшение интегральной энергетической освещенности может привести к трансформации статистики фотоотчетов от нормального распределения для сильного сигнала через различные промежуточные к пуассоновской [17]. Оценочные уровни смены статистик:  $\geq 100$  фотоотчетов за цикл измерения - нормальная,  $\leq 10$  - пуассоновская, 10...100 - промежуточная, которая определяется источником излучения, средой распространения и самим ОЭП и, как правило, нуждается в самостоятельном исследовании. Поскольку спектр излучения Солнца довольно точно аппроксимируется черным телом [18], как и излучение галогенных ламп [14], то и в этом случае, как будет показано ниже соответствующим подбором светофильтров излучение галогенной лампы приводится к цветовой температуре Солнца в требуемой спектральной области.

Схемы построения излучателей имитаторов Солнца аналогичны оптическим схемам проекционных приборов [15, 19]: источник света, конденсор, объектив (см.рис.1). Назначение конденсора - собрать как можно большую долю светового потока источника в фокальной плоскости объектива, а объектива - задать требуемую расходимость. Корректирующий светофильтр приближает спектральное распределение источника света к солнечному в заданной области спектра.

Как было показано, для решения нескольких классов задач перспективно использование в качестве источника света имитатора Солнца галогенных ламп накаливания. Их цветовая температура в рабочей области изменяется по линейному закону в зависимости от протекающего через них тока от 1900 до 3500 К [14], поэтому ток лампы имитатора необходимо стабилизировать электронными средствами, что и отражено на схеме (рис.1). Поскольку Солнце и галогенная лампа моделируются абсолютно черными телами с цветовыми температурами  $T_1$  и  $T_2$  соответственно, то относительные распределения энергии их излучения по длинам волн описываются функцией [20]:

$$y_{1,2}(x_{\lambda_{1,2}}) = 142,32 x_{\lambda_{1,2}}^{-5} (e^{\frac{4,9651}{x_{\lambda_{1,2}}}} - 1)^{-1}, \quad (6)$$

где индекс 1 относится к Солнцу, а индекс 2 к лампе:

$$x_{\lambda,1,2} = \lambda / \lambda_{m,1,2},$$

$\lambda$  - длина волны;  $\lambda_{m,1,2}$  - длина волны излучения абсолютно черного тела в максимуме и вычисляется по закону Вина:

$$\lambda_{m,1,2} = c / T_{1,2}, \quad (7)$$

где  $c = 2897,8$  мкм  $\cdot$  К - постоянная Вина.

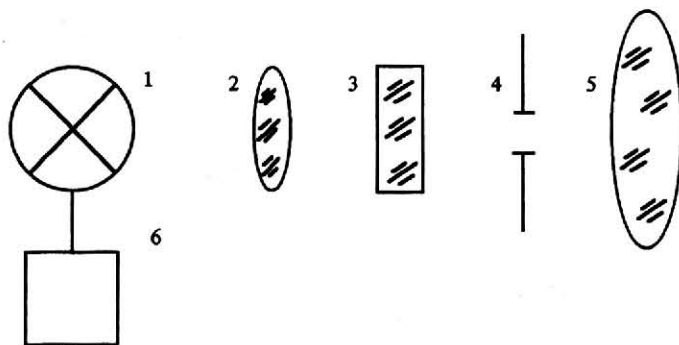


Рис.1. Схема имитатора Солнца

1 - источник света; 2 - конденсор; 3 - корректирующий светофильтр; 4 - регулируемая диафрагма; 5 - объектив; 6 - стабилизатор тока.

В абсолютных единицах, спектральное распределение энергетической освещенности примет вид:

$$E_{\lambda,1,2} = c_{1,2} E_{1,2} y_{1,2}(x_{\lambda,1,2}), \quad (8)$$

где  $E_1$  - интегральная энергетическая освещенность (солнечная постоянная),  $E_2$  - интегральная энергетическая освещенность, которую создает галогенная лампа;  $c_{1,2}$  - нормирующий множитель, имеющий размерность  $\lambda^{-1}$ . Он вычисляется из условия:

$$E_{1,2} = \int_0^{\infty} E_{\lambda,1,2} d\lambda, \quad (9)$$

и для абсолютно черного тела определяется простым выражением:

$$c_{1,2} = 0,657568 / \lambda_{m,1,2} \quad (10)$$

Коэффициент пропускания корректирующего светофильтра  $T_{\lambda}$ , трансформирующего спектр лампы  $E_{\lambda,2}$  в спектр подобный солнечному  $kE_{\lambda,1}$  в некотором диапазоне (см.рис.2), является решением уравнения:

$$kE_{\lambda,1} = T_{\lambda} E_{\lambda,2}, \quad (11)$$

откуда

$$T_{\lambda} = kE_{\lambda,1} / E_{\lambda,2}, \quad (12)$$

где  $k$  - коэффициент пропорциональности.

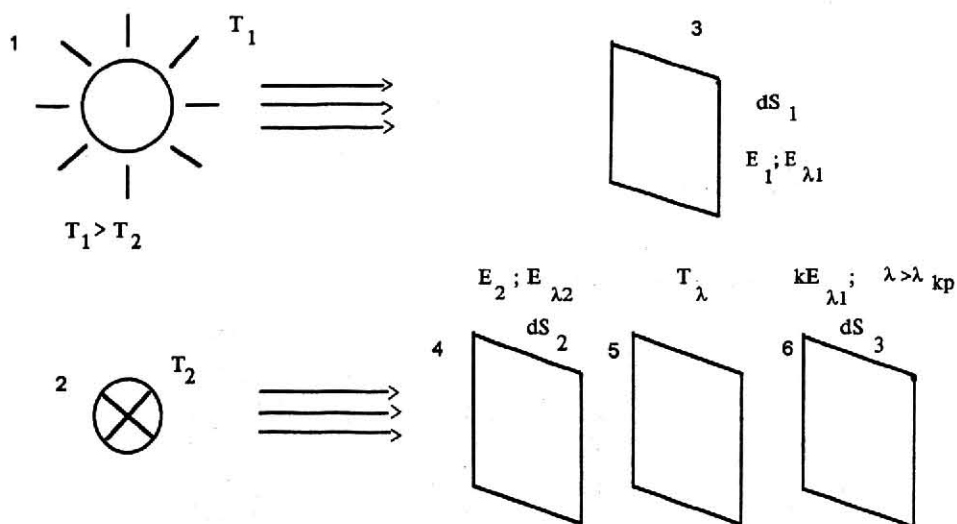


Рис.2. К расчету корректирующего светофильтра  
 1 - Солнце с цветовой температурой  $T_1$ ; 2 - лампа с цветовой температурой  $T_2$ ; 3,4,6 - элементарные площадки; 5 - корректирующий светофильтр.

Подставив в (12) выражение для  $E_{\lambda,1,2}$  (8), получим:

$$T_{\lambda} = \frac{kE_1 \left( \frac{\lambda_{m1}}{\lambda_{m2}} \right)^4 \left( e^{4,9651 \frac{\lambda_{m2}}{\lambda}} - 1 \right)}{E_2 \left( \frac{\lambda_{m1}}{\lambda_{m2}} \right)^4 \left( e^{4,9651 \frac{\lambda_{m1}}{\lambda_{m2}} \frac{\lambda_{m2}}{\lambda}} - 1 \right)} \quad (13)$$

Если в решении (13)  $T_2 > T_1$ , то  $\lambda_{m2} > \lambda_{m1}$ , т.е.  $\lambda_{m1}/\lambda_{m2} > 1$  и соответствующим подбором величин  $k$  и  $E_2$  можно получить полную идентичность спектрального распределения имитатора и Солнца в любом спектральном диапазоне  $0 < \lambda < \infty$  с помощью пассивного светофильтра, т.к.  $T_{\lambda} \leq 1$  для всех  $0 < \lambda < \infty$ .

Поскольку цветовая температура Солнца выше чем у галогенных ламп ( $T_2 < T_1$  и  $\lambda_{m1}/\lambda_{m2} < 1$  и полная идентификация спектров с помощью корректировок пассивным ( $T_{\lambda} \leq 1$ ) светофильтром невозможна в полном соответствии со вторым началом термодинамики. Тем не менее в ограниченной области спектра для длин волн больше некоторой критической  $\lambda_{кр}$  точное воспроизведение спектрального распределения излучения Солнца достижимо.

Значение  $\lambda_{кр}$  находится из условия  $T_{\lambda} = 1$ :

$$\frac{kE_1 \left( \frac{\lambda_{m1}}{\lambda_{m2}} \right)^4 \left( e^{4,9651 \frac{\lambda_{m2}}{\lambda_{кр}}} - 1 \right)}{E_2 \left( \frac{\lambda_{m1}}{\lambda_{m2}} \right)^4 \left( e^{4,9651 \frac{\lambda_{m2}}{\lambda_{кр}} \frac{\lambda_{m2}}{\lambda_{кр}}} - 1 \right)} = 1. \quad (14)$$

Из-за трансцендентности уравнения (14) доказательство существования его решения следует из рассуждений качественного характера. При  $T_2 < T_1$ ,  $\lambda_{m2} > \lambda_{m1}$  наиболее быстрорастущей частью выражения (13) с уменьшением  $\lambda$  является числитель

$$\left( e^{4,9651} \right)^{\frac{\lambda_{m2}}{\lambda}} - 1. \quad (15)$$

Поэтому, если для больших  $\lambda > \lambda_{кр}$  удастся подобрать  $k$  и  $E_2$ , чтобы  $T_\lambda < 1$ , то по достижении  $\lambda = \lambda_{кр}$  с уменьшением  $\lambda$  сначала достигается равенство  $T_\lambda = 1$ , а затем и  $T_\lambda > 1$ , когда пассивный фильтр становится физически нереализуем.

В заключение следует отметить перспективность использования импульсных излучателей для создания имитаторов Солнца как источника фоновых помех, маяков и электродвижущей силы, особенно при решении задач, связанных с получением интегральных плотностей мощности потока на уровне солнечной постоянной или выше. Здесь наряду с изложенными выше требованиями по уровням энергетической освещенности, спектральным распределениям и расходимости, следует наложить еще естественное ограничение на длительность импульса имитатора  $\tau_u$ .  $\tau_u$  должна быть больше характерного для конкретных испытаний промежутка времени  $\tau_o$ , в качестве которого может выступать время сбора первичной информации датчиков, например время записи в ЭВМ кадра телевизионного изображения, постоянная времени датчика Солнца или солнечной батареи.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Моделирование тепловых режимов космического аппарата и окружающей его среды./ Под ред. Г.И.Петрова.- М.: Машиностроение, 1971. -382 с.
2. Петров В.П. Контроль качества и испытание оптических приборов.- Л.: Машиностроение, 1985. -222 с.
3. Дубиновский А.М., Панков Э.Д. Стендовые испытания и регулировка оптико-электронных приборов. - Л.: Машиностроение, 1986. -152 с.
4. Войцены В.С., Гужова С.К., Титов В.И. Воздействие низкотемпературной плазмы и электромагнитного излучения на материалы. - М.: Энергоатомиздат, 1991. -224 с.
5. Протопопов В.В., Устинов Н.Д. Инфрокрасные лазерные локационные системы. - М.: Воениздат, 1987. -175 с.
6. Сафронов Ю.П., Андриянов Ю.Г. Инфрокрасная техника и космос. - М.: Сов.радио, 1978. -248 с.
7. Ивандиков Я.М. Оптико-электронные приборы для ориентации и навигации космических аппаратов. - М.: Машиностроение, 1971. -200 с.
8. Колтун М.М. Солнечные элементы. - М.: Наука, 1987. -192 с.
9. Макарова Е.А., Харитонов А.В. Распределение энергии в спектре Солнца и солнечная постоянная. - М.: Наука, 1972. -288 с.
10. Глудкин О.П. Методы и устройства испытаний РЭС и ЭВС. - М.: Высш.шк., 1991. -336 с.
11. Гуревич М.М. Введение в фотометрию. - М.: Энергия, 1968. -244 с.
12. Околоземное космическое пространство: Справочные данные/Под ред.Ф.С.Джонсона. - М.: Мир, 1966. -191 с.
13. Инженерный справочник по космической технике/Под ред.А.В.Солодова. - М.: Воениздат. 1977. -430 с.
14. Сидоров С.Н., Смолкин М.Н., Никитичева А.М. Интегральные и спектральные характеристики галогенных ламп накаливания. ОМП, 1976, N 2, стр.79-80.
15. Тельный А.А. Имитация солнечного излучения в лабораторных условиях. ОМП, 1976, N 5, стр.43-46.
16. Вугман С.М., Волков В.И. Галогенные лампы накаливания. - М.: Энергия, 1980. -136с.



17. *Стонога В.А., Лагутин М.Ф.* Исследование статистики фотоотчетов реального локационного канала. - Тез.докл. IV Всесоюзн. симп. по лазерному зондированию атмосферы. - Томск: изд-во Ин-та оптики атмосфер СО АН СССР, 1976, стр.182-183.
  18. *Бакулин П.И., Кононович Э.В., Мороз В.И.* Курс общей астрономии. - М.: Наука, 1970. -536 с.
  19. *Вычислительная оптика: справочник/Под ред. М.М.Русинова.* - Л.: Машиностроение, 1984. -423 с.
  20. *Криксунов Л.З.* Справочник по основам инфракрасной техники. - М.: Сов.радио, 1978. -400 с.
- 
- 

## К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

При подготовке статей в сборник "Компьютерная оптика" просим руководствоваться следующими правилами:

1. Материал должен быть изложен лаконично и ясно, окончательно отработан. Текст должен представляться в двух экземплярах (один из которых - первый машинописный оттиск) на русском или английском языках.

2. Рукопись должна быть напечатана через два интервала на одной стороне листа формата А4. Объем статей и обзоров для публикации в сборнике, как правило, не должен превышать 24 страниц машинописного текста, кратких сообщений - 10 страниц.

3. К статье (обзору) должна быть приложена аннотация на русском и английском языках.

4. Формулы вписываются крупно и отчетливо. Заглавные и строчные буквы, отличающиеся только своими размерами, подчеркиваются карандашом двумя чертами: заглавные - снизу, строчные - сверху. Ноль не подчеркивается. Греческие буквы обводят кружком красным карандашом, знаки математических операций (например, дифференцирования и интегрирования) - зеленым. Употребление специальных букв и символов следует оговаривать на полях рукописи. Индексы и показатели степени следует писать четко ниже или выше строки и отчеркивать дугами карандашом. Латинские буквы в тексте обводят кружком синим карандашом.

5. Иллюстративный и графический материал должен быть пронумерован и выполнен в виде, пригодном для полиграфического воспроизводства. К рисункам (при необходимости) отдельно даются подрисуночные тексты.

6. Страницы рукописи должны быть пронумерованы. На полях следует указать места размещения рисунков, графического материала и таблиц.

7. В список литературы следует включать все использованные источники, снабжая их порядковой нумерацией. Библиографические описания источников должны располагаться в списке в порядке появления ссылок в тексте. При ссылках на источник в тексте указывается номер по списку в квадратных скобках.

8. Рукопись должна быть обязательно подписана автором, а при наличии нескольких авторов - всеми соавторами. Статьи, являющиеся результатом работ, проведенных в организациях, должны обязательно сопровождаться письмами этих организаций.

9. Необходимо указать фамилию, полное имя и отчество каждого соавтора, ученую степень, ученое звание, должность, организацию, страну, точный адрес и номер телефона.

10. Для публикации в сборнике принимаются только открытые материалы.

# Classification and rational design of solar simulators

V.N. Grishanov

## Abstract

It is hard to overestimate the effect of solar radiation on the processes occurring in natural and man-made environments, therefore, various products and materials from the simplest ones to spacecraft and their systems are tested for exposure to solar radiation [1]. Conducting field tests is often impossible or is too expensive due to the difficulty of maintaining the same conditions during a series of experiments and in case of real-time operation, which makes the test time unreasonably long [2]. These difficulties rise exponentially when the effects are combined.

*Citation:* Grishanov VN. Classification and rational design of solar simulators. *Computer Optics* 1995; 14-15(2): 46-52.

## References

- [1] Simulation of Thermal Conditions at the Spacecraft and its Environment. Ed. Petrova GI; Moscow: Mashinostroenie Publisher; 1971; 382.
- [2] Petrov VP. Quality control and testing of optical instruments; Leningrad: Mashinostroenie Publisher; 1985; 222.
- [3] Dubinovsky AM, Pankov ED. Bench tests and control of optical-electronic devices; Leningrad: Mashinostroenie Publisher; 1986; 152.
- [4] Voitsenya VS, Guzhova SK, Titov VI. The impact of low-temperature plasma and electromagnetic radiation on materials; Moscow: Energoatomizdat Publisher; 1991; 224.
- [5] Protopopov VV, Ustinov ND. Infrared laser location systems; Moscow: Voenizdat Publisher; 1987; 175.
- [6] Safronov YP, Andriyanov YT. Infrared technology and outer space. - Moscow: Sov.radio; 1978; 248.
- [7] Ivandikov YM. Optoelectronic devices for orientation and navigation of spacecraft; Moscow: Mashinostroenie Publisher; 1971; 200.
- [8] Koltun MM. Solar cells; Moscow: Nauka Publisher, 1987; 192.
- [9] Makarova EA, Kharitonov AV. Spectral energy distribution of the sun and the solar constant; Moscow: Nauka Publisher; 1972; 288.
- [10] Gludkin OP. Methods and devices for testing RES and EMU; Moscow: High School Publisher; 1991; 336.
- [11] Gurevich MM. Introduction to photometry. Moscow: Energiya Publisher; 1968; 244.
- [12] Near-earth space, Reference Data; Ed. Johnson FS; Moscow: Mir Publisher; 1966; 191.
- [13] Engineer guidebook on space-system engineering; Ed. Solodova AV; Moscow: Voenizdat Publisher; 1977; 430.
- [14] Sidorov SN, Smolkin MN, Nikiticheva AM. Integral and spectral characteristics of halogen incandescent lamps. OMP; 1976; 2: 79-80.
- [15] Telnyi AA. Imitation of solar radiation in the laboratory. OMP; 1976; 5: 43-46.
- [16] Vugman SM, Volkov VI. Halogen incandescent bulbs. - Moscow: Energiya Publisher; 1980; 136.
- [17] Stonoga VA, Lagutin MF. A study of the statistics of photocounts of a real location channel. Abstracts of papers of the Fourth All-Union Symposium on Laser Sensing of the Atmosphere; Tomsk; Publishing house of the Institute of Atmospheric Optics, Siberian Branch, Academy of Sciences of the USSR; 1976; 182-183.
- [18] Bakulin PI, Kononovich EV, Moroz VI. Course in general astronomy; Moscow: Nauka Publisher; 1970; 536.
- [19] Computational Optics: Reference; Ed. Rusinova MM; Leningrad: Energiya Publisher; 1984; 423.
- [20] Kriksunov LZ. A handbook of the fundamentals of infrared technology; Moscow: Sov.radio Publisher; 1978; 400.