

УДК 681.7.06

А. В. КОЛИНЧУК, Ю. А. ШЕПЕТОВ

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина*

## ИМИТАТОРЫ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ БАТАРЕЙ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

*Рассмотрены десять образцов современных имитаторов солнечного излучения, среди них восемь серийного промышленного производства, а также два лабораторных образца, разработанных в исследовательских научных центрах. Проведен анализ этих установок по шести ключевым параметрам с целью определения наиболее оптимальных их значений для последующего применения в усовершенствованной конструкции. Сделаны выводы о достоинствах и недостатках каждого имитатора. Определены параметры и конструктивные особенности имитатора, представляющиеся наиболее эффективными. Предложена двухзеркальная неосевая оптическая схема с импульсным протяженным источником для дальнейшего исследования.*

**Ключевые слова:** имитаторы солнечного излучения, оптическая схема, коллимирующая система, солнечный спектр, неоднородность потока излучения.

### Введение

На современном уровне развития науки и техники в области освоения космического пространства актуальной технической проблемой становится адекватное моделирование условий космического полета для испытаний космических аппаратов (КА) и их систем на Земле. Космическое пространство в его воздействии на объекты и процессы являет собой комплекс факторов, таких как: температурный режим; вакуумный режим; плотность, равномерность, параллельность и спектр внеатмосферного солнечного излучения. Необходимость наземных испытаний материалов и отдельных компонентов КА на влияние солнечного излучения вызвана его разно-сторонним на них воздействием в условиях космического полета.

Для успешного решения этой задачи в соответствии с требованиями надежности, долговечности и работоспособности, необходимо обеспечить максимальное приближение условий тестирования к условиям функционирования КА во время космического полета, что реализуется в специализированных камерах с имитаторами солнечного излучения и рядом других устройств.

В идеальном случае для измерения параметров солнечных элементов и батарей как важнейших компонентов системы энергообеспечения КА должны использоваться имитаторы с наилучшим приближением воспроизведения всех параметров солнечного излучения [1], таких как плотность потока, спектральный состав, параллельность лучей, стабильность во времени и равномерность освещения. Однако реализация таких приборов чрезвычайно

сложна, дорога и энергоемка, требует квалифицированного обслуживания, поэтому в зависимости от определенного назначения создаются специализированные имитаторы. В установках, предназначенных для измерения характеристик солнечных элементов и батарей, меньше внимания уделяется достижению коллимации пучка и больше – созданию хорошего приближения к спектру излучения Солнца, обеспечению стабильности и однородности потока.

Большая часть солнечных элементов имеет чувствительность в достаточно узком диапазоне спектра (например, в случае кремниевых солнечных элементов – от 0,4 до 1,4 мкм) по сравнению с интервалом длин волн внеатмосферного солнечного излучения (0,2 – 2,5 мкм). Такое их свойство несколько облегчает задачу разработки имитатора солнечного излучения (ИСИ). Однако использование существующих типов имитаторов для измерения параметров солнечных элементов несколько ограничено [2] значительной временной и спектральной нестабильностью потока излучения имитатора.

Помимо высокого качества воспроизведения спектра, важнейшим качеством имитатора для испытаний солнечных элементов является однородность потока. Равномерности освещения элементов добиваются путем смешивания пучков лучей различными способами.

Однако между точностью имитации солнечного излучения и стоимостью разработки и эксплуатации таких имитаторов существует прямая зависимость. При этом значительные материальные затраты связаны с большой энергоемкостью работы ими-

таторов. В связи с этим, на практике при создании ИСИ находят разумный компромисс между точностью воспроизведения основных параметров и стоимостью установки.

Основными элементами всякого ИСИ являются источники излучения и коллимирующая (спрямляющая) система, которая предназначена для формирования потока излучения с малорасходящимися лучами. Такая система может включать в себя преломляющие, отражающие и поглощающие элементы. Эти элементы могут применяться в различных сочетаниях между собой, а также сочетаться с различными источниками излучения.

Целью данной статьи является анализ некоторых существующих ИСИ для выбора оптимальной базовой конструкции для дальнейшего совершенствования, направленного на снижение энергозатратности эксплуатации имитатора солнечного излучения для испытаний солнечных элементов и батарей КА. Рассмотрены некоторые действующие имитаторы промышленного производства с целью выявления наиболее оптимальных конструкций и схем.

### Постановка задачи исследования

Рассмотрим некоторые существующие ИСИ и охарактеризуем их по следующим параметрам:

- источник излучения,
- соответствие спектру солнечного излучения,
- площадь облучаемой поверхности,
- неоднородность уровней плотностей падающего потока излучения,
- временная нестабильность излучения,
- оптическая схема.

Исследование вышеперечисленных параметров даст нам общее, комплексное представление о качестве имитации солнечного излучения рассматриваемых ИСИ, а также позволит провести сравнительный анализ этих параметров у различных имитаторов с целью определения наиболее оптимальных их значений для последующего применения в усовершенствованной конструкции.

Для анализа нами выбраны некоторые образцы современных ИСИ серийного промышленного производства, а также единичные образцы имитаторов, разработанных в исследовательских лабораториях и научных центрах.

### Параметры, выбранные для сравнения ИСИ

Рассмотрим имитаторы, разработанные как за рубежом, так и на советском и постсоветском пространстве. В данной работе представлено сравни-

тельное описание десяти различных ИСИ по шести ключевым определяющим параметрам. На основе такого комплексного сравнения проведем анализ и выделим достоинства и недостатки каждого имитатора, а также сделаем выводы относительно целесообразности их использования для наземных испытаний солнечных батарей космических аппаратов. Подход к исследованию ИСИ с этой точки зрения отличается научной новизной и является необходимым для выбора дальнейшего направления в усовершенствовании ИСИ.

Сравнение ИСИ обычно проводят по одному-трем параметрам, что не может дать общей картины для понимания качества и оценки имитатора. Поэтому нами для сравнения были выбраны шесть определяющих параметров, анализ которых дает комплексное представление об имитаторе. Ниже приведены значения этих параметров для характеристики ИСИ.

*Источник излучения.* Данный параметр определяет спектральный диапазон ИСИ и его близость к спектру излучения Солнца. Основная часть энергии электромагнитного излучения Солнца, непосредственно влияющая на освещенность и тепловой режим панелей солнечных батарей, заключена в интервале 0,3...2,5 мкм. Используемый в имитаторе солнечного излучения источник излучения принято считать достаточно совершенным, если в указанном диапазоне длин волн относительная величина спектральной интенсивности излучения источника отличается от спектра излучения Солнца не более чем на 5 %.

*Спектральное соответствие солнечному излучению.* Класс А (соответствующий наивысшему качеству имитируемого потока излучения) ИСИ предполагает отклонение от стандартного спектрального распределения солнечного излучения не более  $\pm 25\%$  [3] на участке с самым большим расхождением по спектру излучения. Данное требование выполняется как через правильный выбор источника излучения имитатора, так и через спектральные фильтры, соответствующие различным стандартам солнечного излучения (АМ 0, АМ 1.5 и т.д.).

*Неоднородность уровней плотностей падающего потока излучения.* В условиях космоса излучение, испускаемое Солнцем, имеет высокую степень однородности потока. Для имитаторов класса А неоднородность не должна превышать  $\pm 2\%$  [3].

*Площадь облучаемой поверхности.* Данная величина определяет возможность применения имитатора излучения для испытаний солнечных батарей (СБ) различного размера, и, соответственно, применения. Для испытаний панелей СБ микроспутников и других малых КА подойдут имитаторы с площадью облучаемой поверхности до 300x300 мм, одна-

ко для испытаний крупных КА требуются ИСИ с гораздо большей облучаемой поверхностью.

*Временная нестабильность излучения.* Этот параметр представляет собой колебание измерительной системы в течение интервала, необходимого для получения полной ВАХ. Для класса А величина данного параметра не должна превышать  $\pm 1\%$  [3]. Значительная нестабильность излучения приводит к критическим погрешностям в результатах исследований солнечных элементов.

*Оптическая схема* предназначена для формирования потока излучения с малорасходящимися лучами. Строгая классификация схем имитаторов затруднена, однако три группы оптических схем все же можно выделить: осевые, неосевые и схемы с размещением источников излучения внутри вакуумной камеры. Каждая из них имеет свои достоинства и недостатки, которые должны быть учтены при проектировании ИСИ.

### Сравнительный анализ некоторых ИСИ

Для сравнительного анализа нами были выбраны следующие модели ИСИ:

1. С-1 (СССР) [4];
2. ИС-100, ООО «ЛОМО ФОТОНИКА», (Россия, Санкт-Петербург) [5];
3. ORIEL I-V Sol1A, Newport Corporation (США / Германия) [6];
4. Spectrosun X-25, Spectrolab (США) [7];
5. WXS-300S-50, AM1.5G, Wascom (Япония) [8, 9];
6. SS7.5kW, SCIENCETECH (Великобритания) [3];
7. Unisim 300, TS Space Systems, (Великобритания) [10];
8. LAPSS, Spectrolab (США) [11, 12];
9. Тепловакуумная установка лаборатории NASA (США) [13];
10. Тепловакуумная установка центра ESTEC (Нидерланды, Нордвик) [13].

Как показывает практика, ксеноновые лампы являются наиболее часто используемыми при имитировании солнечного излучения. [12] Большинство исследуемых имитаторов в качестве источника излучения используют дуговые ксеноновые лампы (ИСИ под номерами 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10) либо импульсные ксеноновые лампы (ИСИ под номером 8). Это обстоятельство вызвано тем, что спектральный состав излучаемого света ксеноновых ламп близок к солнечному. Экспериментальными исследованиями механизмов фотоокрашивания покрытий с наполнителями из неорганических пигментов доказано, что на их протекание основное влияние оказывает «же-

сткая» часть ультрафиолетового излучения (0,2...0,3 мкм) в световом пучке [2]. В этой спектральной области лучшим имитатором спектра Солнца является ксеноновая лампа. Расхождение спектров Солнца и лампы в длинноволновой области ( $\geq 0,4$  мкм) несущественны в связи с ее слабой фотоактивностью.

Импульсные ксеноновые лампы, используемые в ИСИ (например, под номером 8), не требуют спектральных фильтров (спектр регулируется с помощью силы тока источника излучения). При измерениях на импульсных имитаторах из-за краткой продолжительности импульса (около 1 мс) солнечная батарея не успевает прогреться, и ее температура близка к комнатной [11, 12].

В некоторых ИСИ (ИСИ под номером 7) используют металлогалогенные дуговые лампы, которые являются разновидностью дуговых газоразрядных ламп. За счет добавления к инертным газам небольшого количества паров металла и галогенидов некоторых металлов возможно достижение очень точного соответствия солнечному спектру. Производитель утверждает, что такой источник излучения также обладает более высокой стабильностью и сроком службы по сравнению с ксеноновыми источниками излучения [10].

Лампы накаливания, используемые в ИСИ (например, под номером 1) в области «жесткого» ультрафиолета неэффективны и вряд ли составляют конкуренцию газоразрядным и дуговым источникам света. С помощью светофильтров достигается достаточно хорошее воспроизведение спектра ламп накаливания в интервале 0,4-1,1 мкм, однако при этом сами светофильтры поглощают значительную часть энергии излучения лампы, что требует почти десятикратного превышения исходного потока излучения над имитированным и интенсивного охлаждения светофильтров [4]. Такие лампы не могут использоваться для создания спектра внеатмосферного Солнца.

Критерий равномерности плотности падающего потока энергии имитатора солнечного излучения является ключевым при определении эффективной площади облучаемой поверхности, которая может быть использована для испытаний солнечных элементов и их модулей. Большая часть рассматриваемых имитаторов удовлетворяет критериям, соответствующим классу А (ИСИ под номерами 3-8). Некоторые рассматриваемые имитаторы имеют неравномерность облучения около 4% (ИСИ под номером 10), что соответствует классу В имитаторов. Такие имитаторы в меньшей степени соответствия воспроизводят параметры солнечного излучения, что не всегда пригодно для испытаний солнечных батарей космического назначения. Имитаторы 1 и 9 выдают поток излучения с неравномерностью в 10-15% [4,

13], что соответствует классу С, еще меньше подходящему для таких испытаний. Некоторые из рассматриваемых ИСИ имеют очень высокий уровень неоднородности падающего излучения (до 50% у имитатора 2). Такие ИСИ не могут быть использованы в рассматриваемых целях.

Немаловажным параметром ИСИ является площадь облучаемой поверхности с равномерной плотностью излучения. Для испытаний солнечных батарей большой площади (3x3 м и выше) обычно используют импульсные ксеноновые источники излучения (ИСИ под номером 8). Для других источников излучения, таких как дуговые ксеноновые лампы и лампы накаливания, характерна небольшая площадь облучаемой поверхности (до 30 см<sup>2</sup> для ксеноновых ламп и около 6см<sup>2</sup> для ламп накаливания) (имитаторы 1-7). Однако с помощью дуговых ксеноновых ламп также может быть достигнута большая площадь освещенной поверхности за счет использования большого количества источников излучения (имитаторы 9, 10). Равномерность освещения при использовании импульсной ксеноновой лампы достигается за счет значительного удаления измеряемой батареи от лампы.

Все рассматриваемые ИСИ имеют нестабильность по времени, не превышающую 5%, что соответствует довольно точному воспроизведению солнечного излучения. Однако требованиям класса А, упомянутым выше, не отвечают имитаторы 1 и 2. Нестабильность их по времени превышает 1% (5% и 2% соответственно) [4], что приводит к погрешно-

стям в результатах, неприемлемым для рассматриваемой нами цели.

Практически все рассмотренные имитаторы включают коллимирующую систему, выполненную по неосевой схеме (имитаторы 1-7, 10). Общим для этих имитаторов является расположение источника излучения относительно спрямляющих зеркал. Например, в имитаторе 3 источник излучения расположен в фокусе эллипсоидного рефлектора и в качестве коллиматора взята часть зеркальной поверхности этого эллипсоида, расположенная в стороне от его оси симметрии.

Имитатор 9 использует осевую оптическую схему. Ее недостаток, свойственный всем осевым схемам, заключается в переотражении на испытываемый объект части лучистого потока, который исходит из рабочей зоны установки и попадает на зеркала проекционной части имитатора. Это приводит в ряде случаев к существенным погрешностям в воспроизведении внешних тепловых нагрузок. Наличие большого числа оптических элементов в спрямляющей системе обуславливает низкий КПД (немного превышает 1%) [13].

Из рассмотренных имитаторов лишь имитатор 8 не имеет спрямляющей оптической системы, что обусловлено использованием импульсной ксеноновой лампы, в которой равномерность освещения достигается за счет значительного удаления измеряемой батареи от лампы.

В таблице 1 приведены обобщенные данные по рассмотренным параметрам ИСИ.

Таблица 1

Сравнительная характеристика ИСИ

Характеристики/ Имитатор	Источник излучения	Соответствие спектру	Неоднородность излучения	Площадь облучаемой поверхности, мм	Временная нестабильность излучения	Оптическая схема
1	2	3	4	5	6	7
С-1 (СССР)	Лампа накаливания мощностью 750 Вт	Спектральные фильтры АМ 1.5	±10%	20x30	±5%	Неосевая
ИС-100, ООО «ЛОМО ФОТОНИКА», (Россия, Санкт-Петербург)	Дуговая ксеноновая лампа	Спектральные фильтры АМ 1.5	±50%	D=100	±2%	Неосевая
ORIEL I-V Sol1A, Newport Corporation (США / Германия)	Дуговая ксеноновая лампа мощностью 1 кВт	Спектральные фильтры АМ 0 (доступны также АМ 1, АМ 1.5, АМ 2), ±25%	±2%	102x102	±0,4%	Неосевая
Spectrosun X-25, Spectrolab (США)	Дуговая ксеноновая лампа ВД мощностью 3 кВт	Спектральные фильтры АМ 0 (доступны также АМ 1, АМ 1.5), ±25%	±2%	300x300	±1%	Неосевая

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
WXS-300S-50, AM1.5G, Wascom (Япония)	Дуговая ксеноновая лампа мощностью 5кВт	Спектральные фильтры AM 1.5G (доступен также AM 0), $\pm 25\%$	$\pm 2\%$	300x300	$\pm 0,5\%$	Неосевая
SS7.5kW, SCIENCETECH (Великобритания)	Дуговая ксеноновая лампа ВД мощностью 7,5кВт	Спектральные фильтры AM 0 (доступны также AM 1.5G, AM 1.5D), $\pm 25\%$	$\pm 2\%$	300x300	$\pm 1\%$	Неосевая
Unisim 300, TS Space Systems, (Великобритания)	Металлогалогенная дуговая лампа	Спектральные фильтры AM 0 (доступны также AM 1, AM 1.5, AM 2), $\pm 25\%$	$\pm 2\%$	300x300	$\pm 0,6\%$	Неосевая
LAPSS, Spectrolab (США)	Импульсные ксеноновые лампы	Спектр регулируется в самом источнике излучения	$\pm 2\%$	5000x5000	$\pm 1\%$	Не имеет
ТБУ лаборатории NASA (США)	Ртутно-ксеноновые лампы мощностью 2,5 кВт	Спектральные фильтры AM 0	$\pm 15\%$	6000x6000	$\pm 1\%$	Осевая
ТБУ центра ESTEC (Нидерланды, Нордвик)	19 дуговых ксеноновых ламп мощностью 20 кВт	Спектральные фильтры AM 0	$\pm 4\%$	D=6000	$\pm 1\%$	Неосевая

### Перспективные схемы для ИСИ

Анализируя все вышерассмотренные параметры имитаторов в комплексе, можем сделать выводы о преимуществах и недостатках каждого из этих ИСИ.

Имитатор 1 может предложить высокую степень спектрального соответствия, однако низкий КПД и необходимость интенсивного охлаждения светофильтров, так же как и малая площадь облучаемой поверхности не дают возможности использовать такой имитатор в рассматриваемых целях.

Аналогично предыдущему, имитатор 2 имеет высокую степень спектрального соответствия и параллельности потока излучения, однако очень сильная неоднородность освещенности поверхности не позволяют использовать этот имитатор для испытаний солнечных батарей для КА.

Имитаторы 3-7 можно примерно отнести к одному уровню воспроизведения потока солнечного излучения. Каждый из них имеет свои отличительные особенности, делающие его использование предпочтительным. Так, имитаторы 3, 5 и 7 имеют очень высокую степень временной стабильности (нестабильность потока по времени составляет всего 0,4%, 0,5% и 0,6% соответственно).

Производители имитатора 3 сообщают о низких эксплуатационных затратах своего продукта благодаря использованию элементов с большим

сроком эксплуатации. Однако это обстоятельство не способствует снижению стоимости установки.

Немаловажным преимуществом имитатора 6 является то, что для поддержания однородности пучка ему не требуется линз и других преломляющих элементов. Высокая степень однородности и параллельности исходящего пучка в этом имитаторе достигается за счет использования оптической системы зеркал, спрямляющих и концентрирующих исходящий поток излучения имитатора.

Особенностью и преимуществом имитатора под номером 7, по заявлению производителя, является простота и дешевизна в эксплуатации источника излучения (металлогалогенной лампы), дающего очень высокую степень временной стабильности.

Для испытаний солнечных батарей большой площади из рассмотренных моделей могут быть использованы лишь имитаторы 8-10. Однако им свойственны некоторые недостатки.

К недостаткам имитатора 8 можем отнести необходимость оснащения измерительной аппаратурой, которая должна обеспечить замер всех точек ВАХ батареи за время одного импульса (около 40 точек), а также необходимость регулярной замены ламп. Однако особенности используемого источника излучения обеспечивают отсутствие явления перегрева солнечных батарей (температура близка к комнатной), отсутствие спектральных фильтров (спектр регулируется с помощью силы тока источ-

ника излучения) и относительно низкие эксплуатационные затраты.

Основные недостатки имитатора 9 связаны с использованием осевой оптической схемы, что приводит к сложности и трудоемкости юстировки имитатора, включающего большое количество ламп. Также сюда отнесем низкий КПД (чуть выше 1%), связанный с наличием большого числа оптических элементов.

К спорным моментам в конструкции имитатора 10 можем отнести расположение ламп под большими углами по отношению к вертикали ( $70^\circ \dots 88^\circ$ ), что может приводить к изменению формы и нарушению устойчивости горения электрической дуги.

Немаловажным недостатком почти всех рассмотренных ИСИ является высокая стоимость установки и ее эксплуатации (имитаторы 3-10), связанная с использованием в конструкции большого количества элементов, требующих регулярной замены (лампы, светофильтры).

Таким образом, с нашей точки зрения оптимальным является использование импульсных ксеноновых ламп в качестве источника излучения в комплексе с неосевой оптической системой без преломляющих элементов (линз) с использованием системы зеркал различной формы, спрямляющих и концентрирующих исходящий поток лампы. Такая система должна уменьшить стоимость установки и в определенном смысле упростить конструкцию, одновременно удовлетворяя требуемому уровню показателей исходящего потока имитатора.

## Заключение

Рассмотрены десять образцов современных ИСИ, среди них восемь серийного промышленного производства, а также два единичных, разработанных в исследовательских лабораториях и научных центрах.

Проведен анализ этих установок по шести ключевым параметрам с целью определения наиболее оптимальных их значений для последующего применения в усовершенствованной конструкции.

Сделаны выводы о достоинствах и недостатках каждого имитатора. Определены характеристики и конструктивные особенности имитатора, необходимые для наиболее эффективного удовлетворения требований к ИСИ, и потому являющиеся наиболее перспективными для дальнейшего совершенствования.

Для решения указанных задач предполагается исследование двухзеркальной неосевой оптической схемы с коническим и эллипсоцилиндрическим отражателями. Общий вид схемы представлен на рис. 1.

Приведенная схема максимально проста и не требует больших финансовых затрат. Ожидается, что такая оптическая схема будет воспроизводить солнечное излучение на малых площадях с достаточно высоким КПД использования источника первичного излучения и коллимированным световым потоком с углом расхождения не больше солнечного.

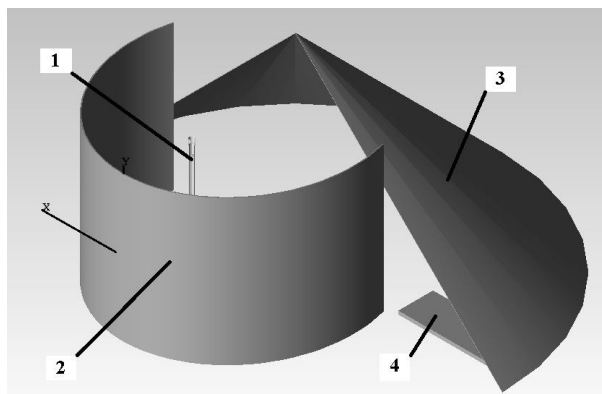


Рис. 1. Двухзеркальная неосевая оптическая схема с импульсным протяженным источником:

- 1 – источник излучения, 2 – эллипсоцилиндрический отражатель, 3 – конический отражатель, 4 – рабочая область

Равномерность потока излучения с максимальной протяженной площадью излучения и минимальным количеством источников излучения обеспечивается использованием импульсной ксеноновой лампы с протяженной зоной дуги. Для решения проблемы обеспечения равномерности светового потока в области рабочего поля предполагается использование отражателя различной конфигурации.

## Литература

1. Макарова, Е. А. *Распределение энергии в спектре Солнца и солнечная постоянная* [Текст] / Е. А. Макарова, А. В. Харитонов. – М. : Наука, 1972. – 83 с.
2. Ковальский, В. Я. *Имитаторы излучения Солнца и измерение характеристик солнечных батарей и их элементов: (Обзор)* [Текст] / В. Я. Ковальский // *Гелиотехника*. – 1972. – № 3. – С. 45–51.
3. *Sciencetech class AAA solar simulators. Fully Reflective Technology Photovoltaic Testing* [Electronic resource]. – Access mode: <http://sciencetech-inc.com/catalogsearch/result/?q=Sciencetech+class+AAA+solar+simulators.+Fully+Reflective+Technology+Photovoltaic+Testing>. – 5.10.2014.
4. Ковальский, В. Я. *Имитатор внеатмосферного Солнца* [Текст] / В. Я. Ковальский, Д. А. Шкло-

вер // Гелиотехника. – 1967. – № 1. – С. 35-42.

5. Имитаторы Солнца [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://lomonosov.ru/content/view/60/116.htm>. – 10.11.2014.

6. Solar Simulation. Section Two Features [Electronic resource] / Oriel Product Training. – Access mode: <http://docslide.us/documents/solar-simulator.html>. – 5.10.2014.

7. SpectroSun model X-25 solar simulator [Electronic resource] / Access mode: <http://www.spectrolab.com/DataSheets/illumination/solarSim/X25%20RevB.pdf>. – 5.10.2014.

8. SpectroSun X-25 Mark II Solar simulator [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.spectrolab.com/DataSheets/illumination/solarSim/X25%20RevB.pdf>. – 15.10.2014.

9. Solar Simulator (Continuous Type) [Electronic resource] / Access mode: <http://www.wacom-ele.co.jp/en/products/solar/normal/>. – 8.11.2014.

10. Unisim Solar Simulator [Electronic resource] /

TS-Space Systems. – Access mode: <http://www.ts-space.co.uk/solar-simulator.php>. – 18.10.2014.

11. Large Area Pulsed Solar Simulator (LAPSS II) [Electronic resource]. – Access mode : <http://www.spectrolab.com/DataSheets/illumination/solarSim/ILS%20LAPSS%20Data%20Sheet%208-7-03%20Web.pdf>. – 15.10.2014..

12. Opiorden, R. W. Large area pulsed solar simulator [Text] / R. W. Opiorden. // Material of 8th IEEE Photovolt. Spec. Conf., Seattle (Wash.), 1970. – Seattle, 1970. – P. 50-54.

13. Исследование конструктивных схем космических солнечных электростанций для энергоснабжения Земли [Текст] / Н. С. Лидоренко, Н. Н. Гибадулин, Г. П. Почивалин, С. В. Рябиков, Д. С. Стребков // Пути использования солнечной энергии: тез. докл. конф., 17-19 февраля 1981 г. – Черноголовка, 1981 г. / Ин-т хим. Физики. – Черноголовка, 1981. – С. 76-78.

Поступила в редакцию 06.04.2015, рассмотрена на редколлегии 15.05.2015

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ДЕЯКИХ ІМІТАТОРІВ СОНЯЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

*А. В. Колінчук, Ю. О. Шепетов*

Розглянуто десять зразків сучасних імітаторів сонячного випромінювання, серед яких вісім серійного промислового виробництва, а також два лабораторних зразка, розроблених в дослідницьких наукових центрах. Проведено аналіз цих установок по шести ключових параметрах з метою визначення найбільш оптимальних їх значень для подальшого застосування у вдосконаленні конструкції. Зроблено висновки про переваги і недоліки кожного імітатора. Визначено параметри і конструктивні особливості імітатора, що уявляються найбільш ефективними. Запропоновано дводзеркальна неосьова оптична схема з імпульсним видовженим джерелом випромінювання для подальшого дослідження.

**Ключові слова:** імітатори сонячного випромінювання, оптична схема, колімуюча система, сонячний спектр, неоднорідність потоку випромінювання.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF SOME SOLAR SIMULATORS

*A. V. Kolinchuk, Yu. A. Shepetov*

Ten samples of modern imitators of solar radiation are examined, eight among them produced by serial industrial production, and two laboratory samples developed in research centers. These plants are analyzed on six key parameters in order to determine the optimal values for their subsequent use in advanced design. Conclusions about the pros and cons of each simulator are made. The parameters of the simulator and design features that seem most effective are defined. A two-mirror off-axis optical system with pulsed prolonged source for further research is proposed.

**Key words:** solar simulators, optical system, collimating system, the solar spectrum, the heterogeneity of the radiation flux.

**Колінчук Алина Владимировна** – аспирант каф. космической техники и нетрадиционных источников энергии, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: lunya18111991@yandex.ru.

**Шепетов Юрий Алексеевич** – канд. техн. наук, доцент, доцент каф. космической техники и нетрадиционных источников энергии, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: shepetov9@d4.khai.edu.