УДК 535.2

СОВРЕМЕННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ИМИТАТОРОВ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

С. П. КУДАК, Д. В. ФОМИН, А. Е. ВОРОНКОВ
Амурский государственный университет
Благовещенск, Россия

Имитаторы солнечного излучения (ИСИ) применяются во многих научных отраслях, в частности при исследовании новых материалов для фотоэлектрических преобразователей, а также при тестировании готовых изделий, например солнечных батарей космических аппаратов. К основным характеристикам ИСИ относят спектральное соответствие солнечному излучению, энергетическую освещённость, пространственную неравномерность её распределения и энергетическую эффективность [1–4].

В зависимости от используемого источника ИСИ могут быть построены на основе газоразрядных, светодиодных или комбинированных излучателей. Каждый из подходов имеет преимущества и ограничения. Так, короткодуговые ксеноновые газоразрядные лампы отличаются широким непрерывным спектром излучения. В [2] проведено сравнение спектра ксеноновой лампы OSRAM XBO со спектром внеатмосферного солнечного излучения AM0. В диапазоне длин волн 400...2 000 нм значения коэффициента спектрального соответствия K_C в отдельных спектральных интервалах составили 0,6...1,7, что подтверждает возможность использования такого источника для имитации солнечного излучения. Однако работа таких ИСИ сопровождается необходимостью применения оптического тракта, потери в котором снижают общую энергетическую эффективность до 5 %...10 % [1].

Светодиодные ИСИ отличаются возможностью непосредственного формирования излучающей поверхности из большого числа отдельных элементов. В отличие от ксеноновой лампы, отдельный светодиод имеет сравнительно узкую спектральную полосу, поэтому для воспроизведения солнечного спектра необходимо объединять излучатели различных спектральных диапазонов. При этом появляется возможность независимо регулировать мощность каждого канала и корректировать результирующий спектр [6]. Однако такая система усложняется необходимостью согласования мощности спектральных каналов для получения требуемого спектрального соответствия. Существенной задачей при построении светодиодных ИСИ остаётся обеспечение равномерности рабочего поля. Для этого в [5] предложена пространственная компоновка светодиодов на наклонных платах. По результатам вычислительного эксперимента для модуля размером 100 × 100 мм при расстоянии 100 мм изменение геометрии расположения излучателей позволило снизить неравномерность энергетической освещённости с 8 % до 4 %. Для компенсации спектральных областей, в которых применение светодиодов менее эффективно, нередко используются галогенные

лампы. Поэтому на практике применяются комбинированные ИСИ, в состав которых входят светодиодные и ламповые источники. Так, в [1] исследована светодиодно-галогенная модель ИСИ для термовакуумных испытаний космических аппаратов. При расстоянии 1,7 м расчётная энергетическая освещённость составила около 1 400 Вт/м² при пространственной неравномерности 3,5 %. В исследованном диапазоне режимов неравномерность находилась в пределах 3,3 %...5,2 %. Расчётная энергетическая эффективность установки составила 19,5 %, что существенно превышает диапазон 5 %...10 % для газоразрядных ИСИ.

Результаты работы [2], в которой рассмотрены спектральные характеристики комбинированной системы при использовании серийной шестицветной светодиодной сборки совместно с галогенной лампой и специализированной светодиодной сборкой из семи кристаллов шести спектральных диапазонов, показывают, что раздельное формирование спектральных составляющих позволяет поддерживать требуемое спектральное соответствие искусственного излучения солнечному спектру при изменении режима работы источника.

Проведённый анализ показывает, что ксеноновые ИСИ обеспечивают широкий спектр излучения, но требуют сложного оптического тракта и имеют энергетическую эффективность порядка 5 %...10 % [1]. Светодиодные системы позволяют независимо управлять спектральными каналами и оптимизировать распределение излучения [4, 5], но из-за этого возникает сложность согласования мощности спектральных каналов. Комбинированные ИСИ сочетают преимущества обоих подходов, при этом сохраняется необходимость проведения совместной оптимизации спектральных, энергетических и пространственных характеристик ИСИ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Шевчук, А. А.** Альтернативный метод имитации солнечного излучения для термовакуумных испытаний космических аппаратов / А. А. Шевчук // Сибирский аэрокосмический журнал. – 2021. – Т. 22, № 4. – С. 672–686.

2. Специализированная светодиодная сборка имитатора внеатмосферного солнечного излучения / А. А. Шевчук [и др.] // Сибирский аэрокосмический журнал. – 2022. – Т. 23, № 4. – С. 734–746.

3. **Мартинович, М. В.** Источник искусственного освещения, имитирующий солнечный спектр, для тестирования солнечных батарей / М. В. Мартинович, И. А. Белова, Д. Ю. Федорова // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2021. – Т. 24, № 4. – С. 19–24.

4. Вакуумный имитатор солнца на основе светодиодов / А. А. Филатов [и др.] // Вакуумная техника, материалы и технологии : материалы XIX Междунар. науч.-техн. конф. – М., 2025. – С. 47.

5. Патент RU 2859721 C1. Светодиодный модуль имитатора солнечного излучения : № 2025126267 : заявлено 25.09.2025 : опубл. 07.04.2026 / М. В. Андреева [и др.].

6. Патент RU 2840234 C1. Имитатор солнечного излучения : № 2024132783 : заявлено 31.10.2024 : опубл. 19.05.2025 / Андреева М. В. [и др.].