

Gudkova Natalya Vasilyevna – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: tala_gud@mail.ru; 44, Nekrasovsky Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371689; the department of automatic control systems; cand. of eng. sc.; associate professor.

Zhebrun Eugeniю Andreevich – e-mail: JackJK@mail.ru; the department of automatic control systems; postgraduate student.

УДК 621.396.6.-027.31

В.А. Сергеев, В.В. Ершов, Д.К. Подымало, А.А. Черторийский
УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫЕ СВЕТОДИОДНЫЕ ОБЛУЧАТЕЛИ
ДЛЯ ОТВЕРЖДЕНИЯ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ*

Приведено описание и результаты экспериментального исследования технических характеристик экспериментального образца ультрафиолетового (УФ) светодиодного облучателя для отверждения композитных материалов на основе полиэфирных смол. В качестве источников УФ-излучения в серийно выпускаемом оборудовании для УФ-отверждения композитных материалов используются ртутные лампы, недостатки которых хорошо известны: низкий (порядка 0,5 %) КПД; малый (порядка 2 тыс. ч) срок службы; большое выделение тепла и озона; трудности с утилизацией. Современные УФ-светодиоды имеют ресурс более 20 тыс. ч, узкий спектр излучения, не требуют специальной утилизации и их применение взамен ртутных ламп обеспечивает повышение энергоэффективности, срока службы и экологической безопасности оборудования. УФ светодиодный облучатель включает 12 блоков излучателей общей площадью засветки 1,5 кв. м с питанием от одного источника напряжения и микропроцессорным блоком управления. Особенностью представленного образца облучателя является отсутствие принудительных систем охлаждения. Это достигается применением специального импульсного режима работы светодиодов. Представленный образец УФ светодиодного облучателя имеет расширенные функциональные возможности и может быть использован как экспериментальная установка для исследования режимов отверждения композитных материалов.

Ультрафиолетовое излучение; светодиодный облучатель; отверждение; композитные материалы.

V.A. Sergeev, V.V. Ershov, D.K. Podymalo, A.A. Tchertoriysky
ULTRA-VIOLET LIGHT EMMITING DIODES IRRADIATOR
FOR COMPOSITE MATERIALS CURING

The description and results of a pilot study of technical characteristics of an experimental sample of ultra-violet (UV) light-emitting diodes (LED) irradiator for an curing of composite materials on the basis of polyester resins is provided. As sources of UV-radiation in serially let out equipment for UV-curing composite materials are used the mercury lamps which shortcomings are well-known: low (about 0,5 %) efficiency; small (about 2 000 hours) service life; big allocation of heat and ozone; difficulties with utilization. Modern UV LEDs have a resource more than 20 000 hours, a narrow range of radiation, don't demand special utilization and their application instead of mercury lamps provides increase of energy efficiency, service life and ecological safety of the equipment. UV LED irradiator turns on 12 blocks of irradiators with a total area of flare of 1,5 sq. m with one voltage source and the microprocessor control unit. Feature of the presented sample of an irradiator is

* Работа выполнена при поддержке Фонда содействия малых форм предприятий в научно-технической сфере по проекту №18377 в рамках программы «Старт-12».

lack of compulsory cooling systems. It is reached by application of a special pulse operating mode of LEDs. The presented sample of UF of a LED irradiator has expanded functionality and can be used as experimental installation for research of modes of an curing of composite materials.

Ultra-violet radiation; LED irradiator; curing; composite materials.

Введение. Технология ультрафиолетового (УФ) отверждения, изобретенная в 1960 году, получила широкое распространение во многих отраслях промышленности [1, 2]. В настоящее время данная технология занимает около 4 % рынка и растет темпами более чем 10 % в год, вытесняя обычные технологии сушки и полимеризации, благодаря большей производительности труда, улучшению качества и экологичности продукции.

В качестве источников УФ-излучения в серийно выпускаемом оборудовании используются газоразрядные лампы [3, 4]. Их минусы хорошо известны: очень низкий КПД (порядка 0,5 % в требуемом спектральном диапазоне); сравнительно короткий срок службы (порядка 2 тыс. ч); сложная система управления; большое выделение тепла; выделение озона; трудности с утилизацией.

Наиболее распространенными на рынке являются Ультрафиолетовый облучатель фирмы Torgauer Maschinenbau GmbH, Германия [3] по цене 11.000 EUR (версия 2500x1600 мм) и 14.000 EUR (версия 3300x2250 мм) и Системы ультрафиолетового отверждения фирмы Fusion UV Systems, Inc. США. [4].

Альтернативная система отверждения с использованием облучателей на основе светодиодов УФ-диапазона экологически безопасна, облучатели имеют длительный срок службы. Применение светодиодов взамен газоразрядных ламп обеспечивает высокую энергоэффективность оборудования, значительно повышает срок службы излучающих элементов, увеличивает экологическую безопасность производства.

В настоящее время технология светодиодного УФ-отверждения применяется в полиграфии для отверждения полимерных красок. В России работы в области УФ-отверждения для использования в печати ведутся инновационной компанией САН [3]. Английская компания «Integration Technology» [4] ведет работы по созданию УФ-светодиодных блоков для отверждения чернил в принтерах. Однако промышленные УФ-светодиодные облучатели для отверждения композитных материалов при производстве изделий из них ни в России, ни за рубежом в настоящее время серийно не выпускаются.

Конкурентными преимуществами предлагаемой системы облучения являются: снижение энергопотребления в 3–4 раза, в десятки раз больший срок службы УФ-светодиодов по сравнению с лампами, экологичность, отсутствие тепловыделения.

При ожидаемой более высокой стоимости, по сравнению с установками, использующими газоразрядные лампы, установки УФСО экономически более эффективны за счет снижения затрат на обслуживание, закупку ламп, а также за счет снижения энергопотребления и более высокой производительности.

Принцип работы и технические характеристики установки. Разработанный УФИРЭ им. В. А. Котельникова РАН опытный образец УФСО с площадью рабочей поверхности 1,5 кв. м состоит из источника питания, пульта управления и трех комплектов светодиодных облучателей, каждый из которых в свою очередь содержит один базовый блок и три рабочих блока, соединенных между собой силовыми цепями и цепями управления [8]. Блоки облучения подключаются к источнику питания и пульту управления через главный базовый блок. Все четыре светодиодных блока в комплекте имеют одинаковые габаритные размеры, электрические и светотехнические характеристики и отличаются только составом

коммутационных элементов и электронных узлов управления режимом работы. Внешний вид комплекта представлен на рис. 1. Основные технические характеристики отдельного блока облучения приведены в табл. 1.

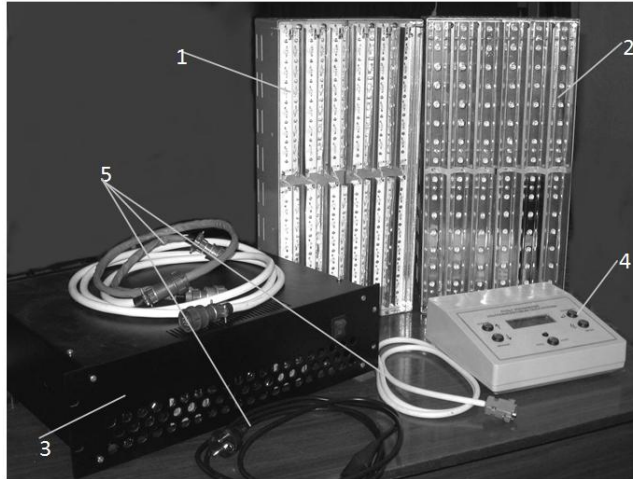


Рис. 1. Внешний вид комплекта облучателей: 1 – базовый блок облучателя; 2 – дополнительный блок облучателя; 3 – источник питания; 4 – пульт управления; 5 – комплект кабелей

Соединение блоков внутри комплекта и комплектов между собой показано на рис. 2.

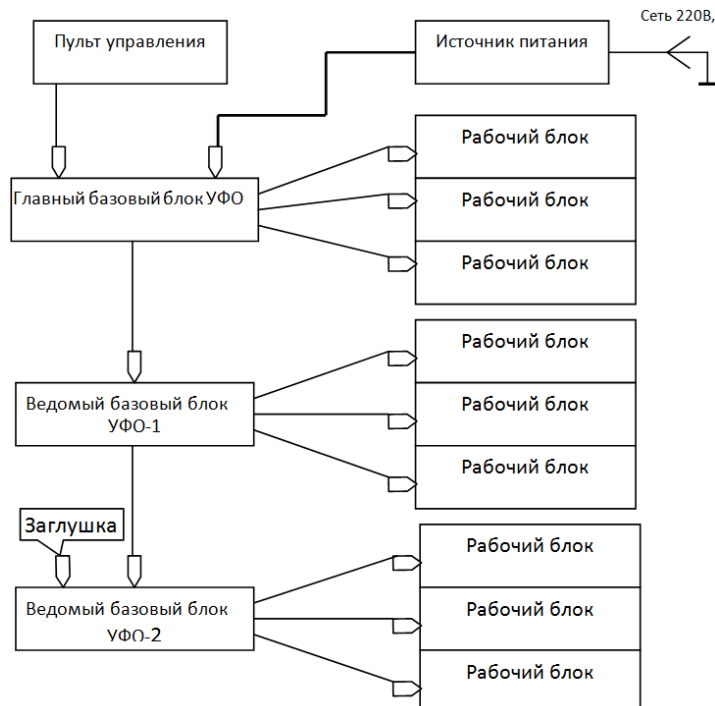


Рис. 2. Структурная схема УФСО

Базовый блок, подключаемый к источнику питания и пульту управления, обозначается как главный базовый блок, остальные базовые блоки обозначаются как ведомые базовые блоки. Источник питания представляет собой отдельный функционально законченный блок с питанием от сети 220 В, 50 Гц и с выходным напряжением 30 В.

В целях уменьшения потребляемой от источника питания электрической мощности и снижения температуры перегрева светодиодов в УФСО реализован импульсный режим работы. Скважность импульсов питающего тока меняется от 1 до 10, при сохранении неизменной максимальной (пиковой) мощности излучения. Основные технические характеристики отдельного блока облучения УФСО приведены в табл. 1.

При необходимости увеличения облучаемой площади в УФСО предусмотрена возможность подключения дополнительных комплектов УФСО (базовый блок и три дополнительных блока) с управлением от одного пульта управления. С этой целью на каждом базовом блоке устанавливается дополнительный силовой разъем, позволяющий передать напряжение питания на базовый блок дополнительного комплекта УФСО. Через этот же разъем осуществляется передача сигналов от пульта управления.

Результаты исследования характеристик УФСО. Одной из основных задач при проектировании УФСО является обеспечение теплового режима [9]. По требованиям эксплуатации УФСО не должен содержать принудительных систем охлаждения.

Испытания опытного образца УФСО проводились на специально разработанном испытательном стенде. В качестве иллюстраций результатов испытаний на рис. 3 приведен спектр излучения УФСО, полученный на спектрометре USB2000+VIS-NIR-ES с волоконно-оптическим вводом излучения. Центральная длина волны излучения составила 403 нм, ширина спектра по уровню 0,5 составила 14 нм.

Таблица 1

Основные технические характеристики отдельного блока облучения

1	Длина волны излучения светодиодов	390-410 nm
2	Угол расхождения светового потока	90 град
3	Рабочий ток светодиодов	700 мА
4	Зона облучения	50x25 см
5	Пиковая плотность мощности УФ излучения на облучаемой поверхности при включении, не менее	36,0 Вт/кв. м
6	Потребляемая мощность, не более	300 Вт
7	Время установления рабочего режима, не более	0,01 с
8	Управление облучателем	автоматическое
9	Время облучения, устанавливаемое на пульте управления	От 1 до 999 мин
10	Расстояние до обрабатываемой поверхности, не более	250 мм
11	Срок службы светодиодов	50 000 ч
12	Габариты блока облучения	500x250x140 мм
13	Масса, не более	8,5 кг

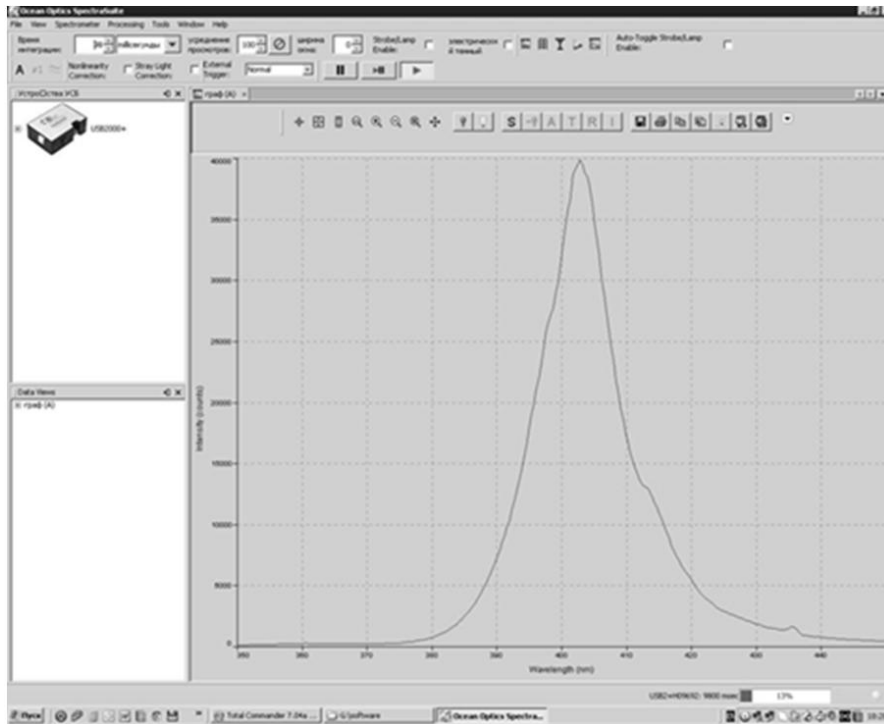
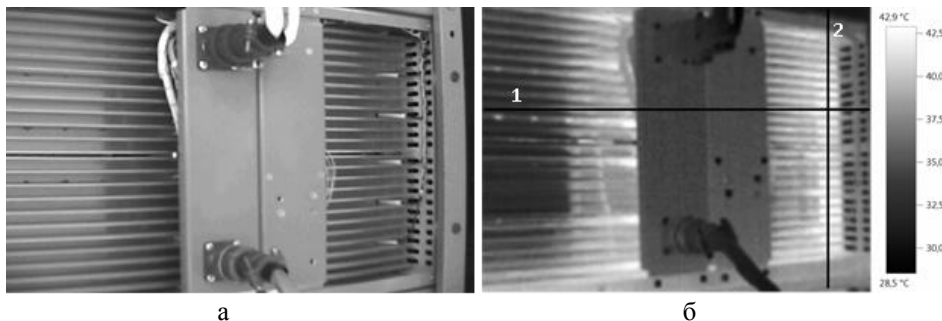


Рис. 3. Спектр излучения светодиодов УФСО: ось абсцисс – длина волны излучения; ось ординат – мощность излучения в условных единицах

Помимо точечных измерений температуры проведено исследование пространственного распределения температуры по поверхности радиатора блока облучателя. Измерения позволили выявить наиболее нагретые элементы конструкции облучателя. Для измерений использовался тепловизор марки «Testo 876». Результаты измерений температуры после 60 минут непрерывной работы облучателя представлены на рис. 4.

Можно видеть, что наиболее нагретыми являются центры половин радиатора (радиатор имеет размер $500 \times 250 \text{ мм}^2$ и составлен из двух частей размером $500 \times 122 \text{ мм}^2$ с небольшим зазором между ними). Однако разница в температурах перегрева не превышает трех градусов, а по абсолютному значению температура наиболее нагретого участка не выходит за допустимые пределы для усредненной температуры радиатора ($43 \text{ }^\circ\text{C}$ при норме не более $45 \text{ }^\circ\text{C}$).



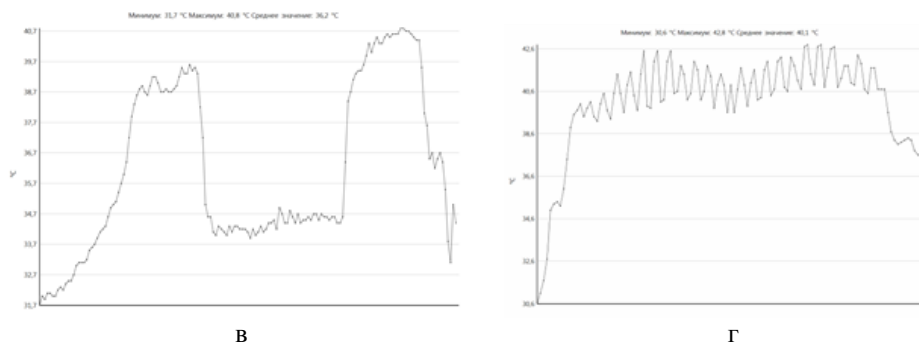


Рис. 4. Результаты экспериментального исследования распределения температуры по поверхности радиатора базового блока облучателя: а – внешний вид поверхности радиатора; б – температурное поле; в – профиль распределения температуры вдоль ребер радиатора; г – профиль распределения температуры поперек ребер радиатора

Представленный УФСО успешно прошел испытания в производственных условиях и обеспечивает при номинальных режимах работы отверждение композитных материалов на основе полиэфирных смол толщиной до 1 см со скоростью примерно 1 мм/мин. Расширенные функциональные возможности УФСО позволяют его использовать как экспериментальную установку для определения оптимальных режимов отверждения композитных материалов путем варьирования такими параметрами как максимальная мощность светового потока, длительность и скважность импульсов, расстояние до облучаемой поверхности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кенни Дж. Системы УФ-отверждения // Флексография. – 2006. – № 3.
2. Токманцев Д. Некоторые аспекты процесса УФ-отверждения лаков и красок // Флекс Плюс. – 1998. – № 4 (6).
3. Torgauer Maschinenbau GmbH. – Режим доступа: <http://www.tmb-torgauermaschinenbau.de/eng/index.html>.
4. F300S/F300SQ Parts // Fusion UV Systems, Inc., F300S/ F300SQ 588601, rev. F. – Режим доступа: http://www.fusionuv.com/uploadedFiles/PDF_Library/588601%20F300S%20Parts.pdf;
5. UV-LED-технология – Режим доступа: http://www.sunrussia.com/Productions/dev/UV_LED.htm.
6. UV Curing Products. – Режим доступа: <http://www.uvintegration.com/products/>.
7. SE-600-SPEC – Режим доступа: <http://www.meanwell.com/search/SE-600/default.htm>.
8. Патент №118917 РФ на полезную модель МПК⁷ В29С71/04 Ультрафиолетовый светодиодный облучатель // В.А. Сергеев, В.В. Ершов, Д.К. Подымало, В.В. Громаков, В.В. Юдин. Заявл. ООО «ЦИК» и ООО «Сампол». – Опубл. 12.08.2012. – Бюл. №22.
9. Сергеев В.А. Анализ тепловых режимов мощных светодиодов в составе светодиодных облучателей // Известия вузов. Электроника. – 2013. – № 1 (99). – С. 85-87.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Н.Н. Прокопенко.

Сергеев Вячеслав Андреевич – УФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН; e-mail: ufire@mv.ru; 432049, г. Ульяновск, ул. Аблукова, 83, кв. 177; тел./факс: 88422442996; директор; д.т.н.

Черторгийский Алексей Аркадьевич – e-mail: a-tchertor@yandex.ru; г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 30; тел.: +79022452406; зам. директора по научной работе; к.т.н.

Ершов Виктор Васильевич – ООО «Сампол» (Самара); e-mail: sampol@mail.ru; 443051, г. Самара, ул. Олимпийская, 73; тел./факс: 88469583512; директор.

Подымало Дмитрий Константинович – Ульяновский государственный технический университет; e-mail: СИК_XXI@mail.ru; 432029, Ульяновск, а/я 10351, тел.: +79022452406; кафедра радиотехники, опто- и наноэлектроники; ведущий электроник.

Sergeev Viacheslav Andreevich – Ulyanovsk Branch of Kotel'nikov Institute of Radioengineering and Electronics; e-mail: ufire@mv.ru; 83, Ablukova street, ap. 177, Ulyanovsk, 432049, Russia; phone: 88422442996; director; dr. of eng. sc.

Tchertoriysky Alexey Arkadievich – e-mail: a-tchertor@yandex.ru; 30, Severny Venetc street, Ulyanovsk, Russia; phone: 88422467009; vice-director on science work; cand. of eng. sc.

Ershov Victor Vasilievich – Limited liability company «Sampol»; e-mail: sampol@mail.ru; 73, Olimpiyskaya street, Samara, 443051, Russia; phone/fax: 8846 9583512; director.

Podymalo Dmitry Konstantinovich – Ulyanovsk State Technical University; e-mail: СИК_XXI@mail.ru; 432029, Ulyanovsk, Russia, а/я 10351; phone: +79022452406; the chair of radioengineering, opto and nanoelectronics; leading electronic.

УДК 621. 316

Е.И. Старченко, И.В. Бариллов

АРХИТЕКТУРА ТЕМПЕРАТУРНО-СТАБИЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ ОПОРНОГО НАПРЯЖЕНИЯ, НЕ СВЯЗАННЫХ С ШИРИНОЙ ЗАПРЕЩЕННОЙ ЗОНЫ КРЕМНИЯ*

Рассматривается возможность построения источников опорного напряжения (ИОН), выходное напряжение которых может относительно произвольно регулироваться и быть как выше, так и ниже ширины запрещенной зоны кремния. Для этих целей используется дифференциальный каскад, к одному из входов которого подключен источник напряжения с отрицательным температурным дрейфом, выполненным на диоде. В результате в одном плече дифференциального каскада формируется ток с отрицательным температурным дрейфом, в другом – с положительным. Для получения ИОН с положительным выходным напряжением необходимо использовать транзисторы p-n-p-типа или полевые транзисторы с каналом p-типа. Использование полевых транзисторов с управляющим p-n-переходом и каналом p-типа в дифференциальном каскаде позволяет, помимо всего прочего, достичь высокой радиационной стойкости. Полученные аналитические выражения и результаты моделирования показывают перспективность такого способа построения ИОН, еще не нашедшего широкого применения.

Источник опорного напряжения; дифференциальный каскад; температурный дрейф.

E.I. Starchenko, I.V. Barilov

TEMPERATURNO'S ARCHITECTURE OF THE STABLE VOLTAGE REFERENCE SUPPLY WHICH HAVE NOT BEEN CONNECTED TO WIDTH OF THE BANDGAP OF SILICON

The possibility of constructing a reference voltage source (RVS), output voltage can be adjusted with respect to arbitrarily and be both above and below the band gap of silicon. For this purpose is used a differential stage, to one input of which is connected with a voltage source a negative temperature drift formed on the diode. As a result, in one arm of a differential stage formed current with a negative temperature drift in the other – with a positive. For RVS with a positive output voltage necessary to use p-n-p transistors or FETs type p-channel type. Using FET

* Подготовлено в рамках Госзадания № 2014/38-2014 г. Минобрнауки РФ.