

Юрий Петропавловский

Мощные ультрафиолетовые светодиоды компании LED Engin

для сушки поверхностей

В современной промышленности ультрафиолетовое (УФ) отверждение лакокрасочных покрытий становится все более востребованным. Связано это с объективными причинами, обусловленными неоспоримыми преимуществами этого вида сушки:

- практически мгновенная полимеризация покрытия;
 - высокая твердость и стойкость покрытий к царапанию и истиранию, химическая стойкость;
 - хорошая адгезия к инертным подложкам (полиэтилен, полипропилен и т. п.);
 - относительная пожаробезопасность;
 - легкость монтажа УФ-постов отверждения в существующие окрасочные линии с существенным увеличением производительности. УФ-сушка также находит применение в рулонных и листовых печатных машинах.
- Достоинства УФ-сушки:
- УФ-краски после облучения полностью высыхают;

- отпечатки не повреждаются из-за отмарывания или склеивания;
 - возможна немедленная дальнейшая послепечатная обработка (резка, тиснение, биговка, высечка и т. д.);
 - отсутствуют проблемы при печати (окраске) на невпитывающих материалах (металл, пленка, керамика, стекло и т. п.).
- Недостатки:
- высокие вложения капитала в связи с необходимостью дополнительных устройств;
 - более высокая стоимость красок, моющих веществ и т. д.;
 - ограниченный срок службы УФ-излучателей и их высокая энергоемкость.

Источники УФ-излучения разделяются на три типа: длинноволновые (UVA) — $\lambda = 400\text{--}315$ нм, средневолновые (UVB) — $315\text{--}280$ нм и коротковолновые (UVC) — $280\text{--}100$ нм. Применение светодиодных УФ-излучателей устраняет один из главных недостатков УФ-ламп — ограниченный срок службы. Кроме того, применение УФ-светодиодов повышает

энергоэффективность оборудования для сушки.

УФ-светодиоды компании LED Engin из ассортимента 2013 г. представлены семейством продуктов LZ, в состав которого входят модули серий LZP (24 кристалла), LZC (12 кристаллов), LZ4 (четыре кристалла), LZ1 (один кристалл).

Модули серии LZP

В состав каждого модуля (рис. 2) входят четыре цепочки по шесть последовательно соединенных светодиодов длинноволнового диапазона UVA, что позволяет включать их как последовательно, так и параллельно. Нумерация выводов модулей и схема внутренних соединений показаны на рис. 3, 4. Номинальная потребляемая мощность приборов 90 Вт. Области применения модулей, рекомендованные производителем (кроме сушки поверхностей): отверждение (пластмасс и т. п.), стерилизация, медицина, детекторы подлинности банкнот, флуоресцентная микроскопия, контроль красителей, заражений грызунов и животных, обнаружение утечек, судебная экспертиза. Основные особенности приборов:

- высокая мощность излучения;
- небольшая площадь контактной площадки (12×12 мм) для установки на печатной плате;
- керамический корпус с интегрированной линзой, прозрачной для УФ-лучей (спец-стекло);
- экстремально низкое тепловое сопротивление ($0,6$ °C/Вт);
- электрически нейтральная подложка;



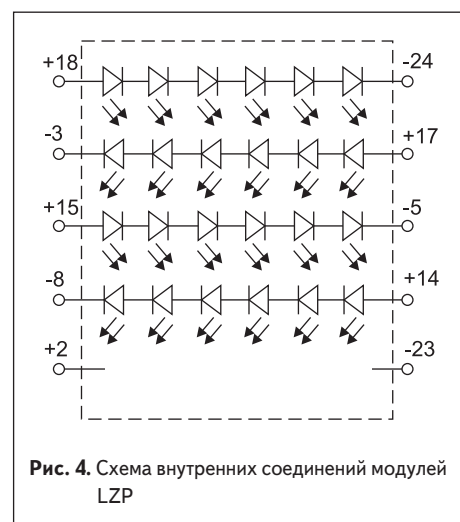
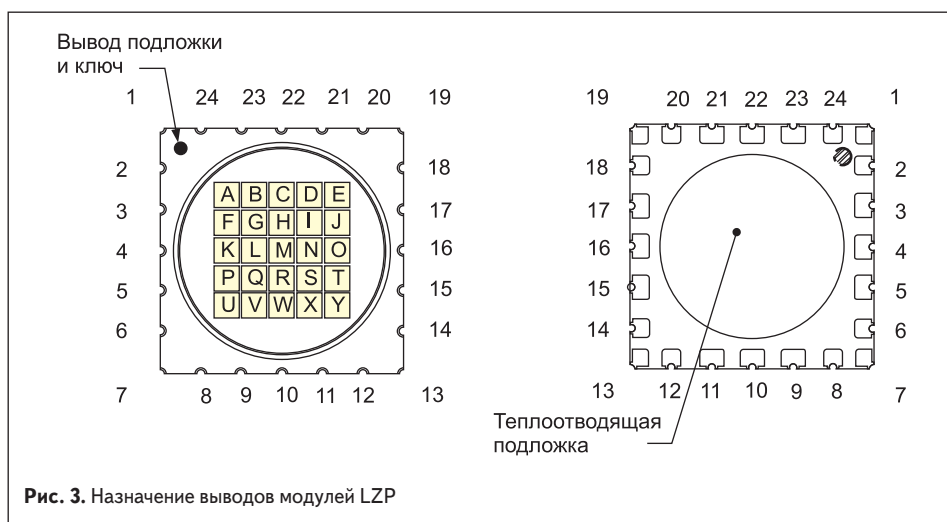
Рис. 2. Внешний вид модуля серии LZP



Рис. 1. Доктор Ксянтао Ян

Компания LED Engin, Inc. (г. Сан-Хосе, Калифорния, США) была основана в 2004 г. доктором Ксянтао Ян (Dr. Xiantao Yan) для разработки и производства светодиодных продуктов и технологий, предназначенных для широкого спектра бытовых, офисных и промышленных применений. Ксянтао Ян (рис. 1), инженер по ракетной технике из КНР, более 20 лет работает в области теплового дизайна, механики материалов и оптики для электроники и фотоники, принимал участие в разработке решений Flip Chip в компаниях Hughes Electronics и Delco Electronics [1].

В каталоге продуктов 2013 г. [2] компания предлагает широкую номенклатуру светодиодных излучателей (LED Emitters), в том числе ультрафиолетовых, на основе технологии LuxiGen, модулей LuxiTune, ViviLux и линз для светодиодных осветительных приборов. Продукция компании представлена по всему миру, в России дистрибьютором LED Engin является компания «Элтех».



• опционные исполнения на печатных платах с металлической (медной) основой (МСРСВ), подложки модулей припаяны непосредственно к медному ядру платы.

Предусмотрено четыре конструктивных исполнения приборов:

- LZR-00UA00-xxxx — только модули.
- LZR-D0UA00-xxxx — МСРСВ-модули с четырьмя независимыми каналами по шесть последовательно соединенных светодиодов (диаметр платы 28,3 мм), прямое напряжение 22 В, прямой ток 4×0,7 А.
- LZR-G0UAT1-xxxx — МСРСВ-модули с одним каналом, две параллельные цепочки по 12 последовательно включенных светодиодов (диаметр 49,5 мм), $U_{пр} = 44$ В, $I_{пр} = 1,4$ А.
- LZR-H0UAT1-xxxx — МСРСВ-модули с одним каналом, четыре параллельные цепочки по шесть последовательно включенных светодиодов и термистором с отрицательным ТКЕ (диаметр 49,5 мм), $U_{пр} = 22$ В, $I_{пр} = 2,8$ А.

Во всех исполнениях МСРСВ установлены защитные стабилитроны компании NXP (по одному для каждой последовательной цепочки светодиодов). Тепловое сопротивление связки модуль+МСРСВ — $0,6+0,1 = 0,7$ °С/Вт.

Выпускается пять исполнений приборов по пиковым длинам волн: бин U4 — ($\lambda_{пик\ min} - \lambda_{пик\ max}$) 385–390 нм; U5 — 390–395 нм; U6 — 395–400 нм; U7 — 400–405 нм, U8 — 405–410 нм. Следует отметить, что электромагнитные излучения с длинами волн 380–440 нм относятся к видимому фиолетовому цвету и в то же время к длинноволновому (ближнему) ультрафиолету (315–400 нм), часто называемому черным светом, а рассматриваемые приборы названы производителем «фиолетовыми».

Предусмотрено четыре исполнения по значению мощности излучения, обеспечиваемого модулями при прямом токе 700 мА: бин X — ($\Phi_{min} - \Phi_{max}$) 9,5–12 Вт; Y — 12–15 Вт; Z — 15–20 Вт; C2 — 20–25 Вт. Ширина диаграммы распределения силы излучения (Viewing Angle) $2\theta_{0,5}$ — 115°, типовая зависимость относительной интенсивности излучения от углового отклонения приведена на рис. 5, типовая спектральная характеристика приборов для $\lambda_{пик} = 400$ нм — на рис. 6.

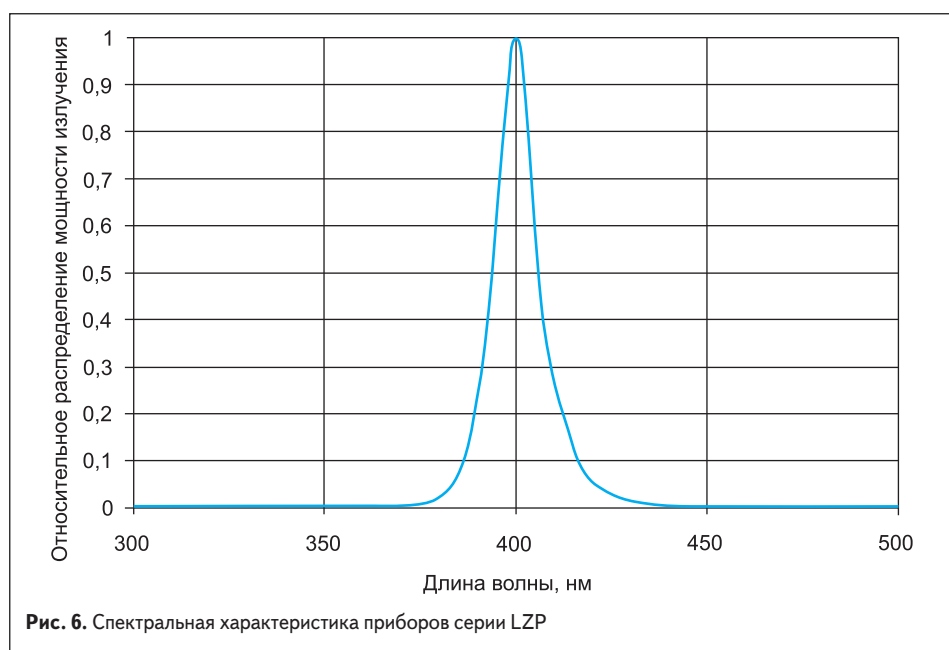
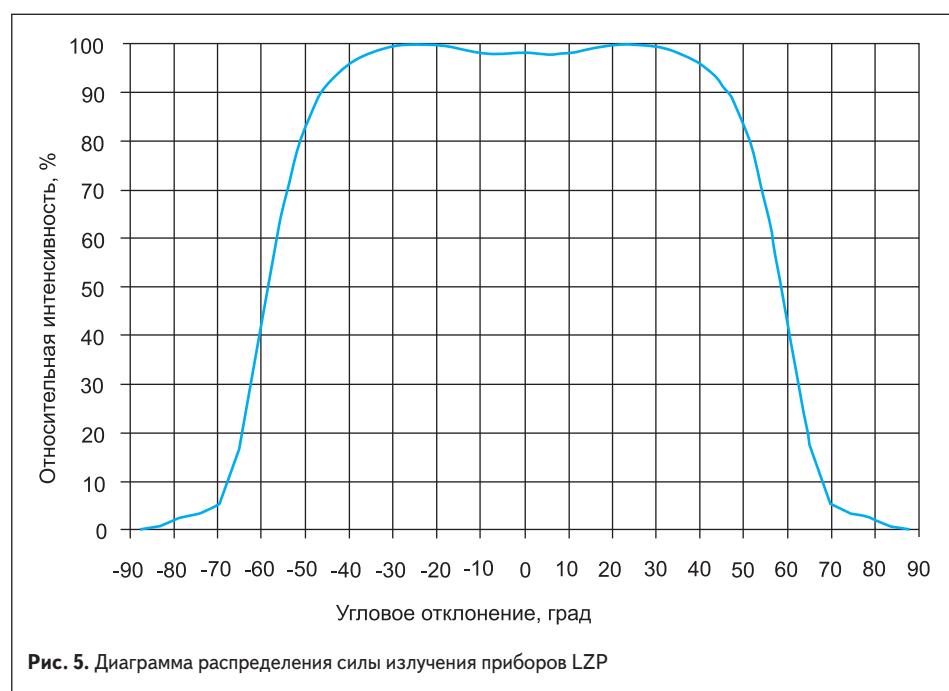




Рис. 7. Внешний вид модулей серии LZC

Прямое напряжение для каждого канала приборов находится в пределах 20,64–23,52 В, максимальный прямой ток в каждом канале не должен превышать 1 А, а температура кристаллов не должна быть более +125 °С.

Модули серии LZC

В состав серии входит «фиолетовый» модуль LZC-00UA00 и «ультрафиолетовый» LZC-00U600 с номинальной потребляемой мощностью 40 Вт. Каждый из них содержит по две цепочки из шести последовательно включенных светодиодов. Внешний вид приборов показан на рис. 7, нумерация выводов — на рис. 8, схема внутренних соединений — на рис. 9.

Приборы предназначены для тех же областей применения, что и описанные выше «фиолетовые» модули, отличия касаются размеров (9×9 мм) и теплового сопротивления (0,7 °С/Вт). Предусмотрено по два конструктивных исполнения на платах МСРСВ: один канал из 12 последовательно соединенных светодиодов



Рис. 10. Внешний вид модулей LZ4

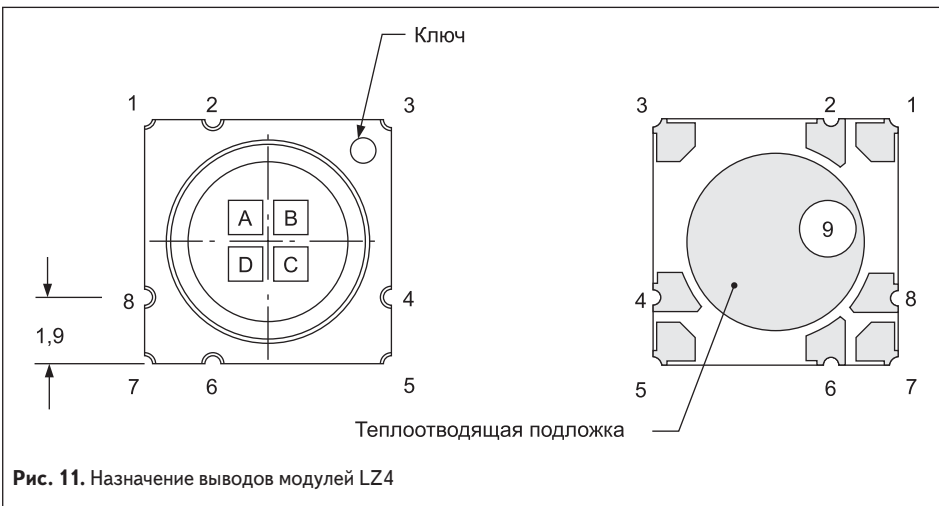


Рис. 11. Назначение выводов модулей LZ4

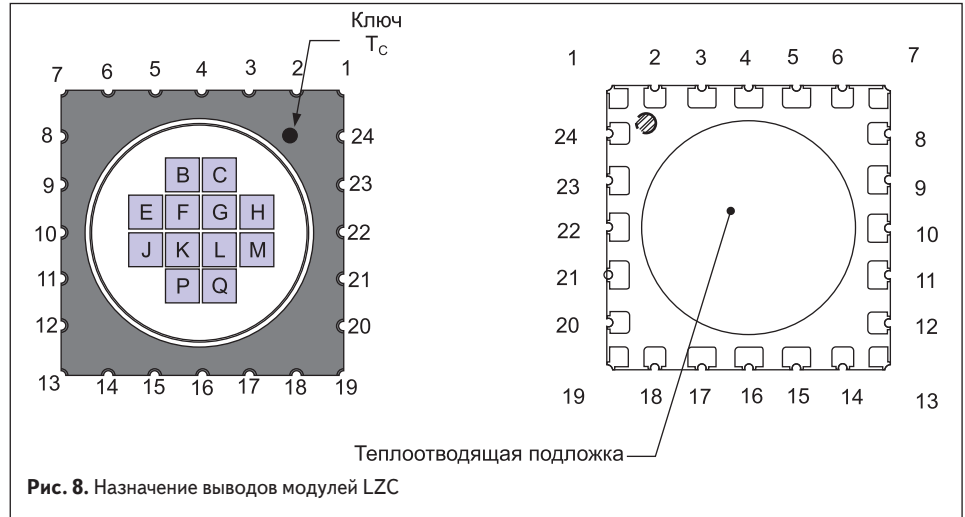


Рис. 8. Назначение выводов модулей LZC

и два канала по шесть последовательно соединенных светодиодов; диаметр плат 28,3 мм; номинальное прямое напряжение/ток — 42 В/0,7 А и 21 В/0,7 × 2 А соответственно. На платах также установлены защитные стабилитроны NXP, тепловое сопротивление связи модуль+МСРСВ — 0,7+0,6 = 1,3 °С/Вт.

Выпускаются следующие исполнения модулей по пиковым длинам волн: U0 — 365–370 нм; U1 — 370–375 нм (для LZC-00U600); U4 — 385–390 нм; U5 — 390–395 нм; U6 — 395–400 нм; U7 — 400–405 нм; U8 — 405–410 нм (для LZC-00UA00).

Предусмотрено несколько исполнений по значению мощности излучения, обеспечиваемого при прямом токе 700 мА: бин R — (Φ_{\min} – Φ_{\max}) 2,4–3 Вт; S — 3–3,8 Вт (для LZC-00U600); U — 4,8–6 Вт; V — 6–7,5 Вт; W — 7,5–9,5 Вт; X — 9,5–12 Вт (для LZC-00UA00).

Ширина диаграммы распределения силы излучения обоих модулей $2\theta_{0,5} \approx 95^\circ$. Максимально допустимая температура кристаллов «ультрафиолетовых» модулей ниже, чем у «фиолетовых» (+125/+100 °С).

Модули серии LZ4

В состав серии входят «фиолетовый» модуль LZ4-00UA00, УФ-модуль LZ4-00U600 и комбинированный модуль LZ4-00D100, состоящий

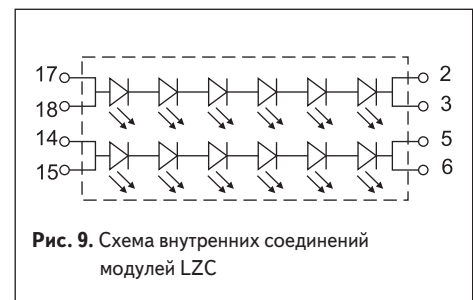


Рис. 9. Схема внутренних соединений модулей LZC

из «фиолетового» и трех синих (Dental Blue) светодиодов с номинальной потребляемой мощностью 10 Вт. В состав каждого модуля (рис. 10) входят четыре независимых светодиодных кристалла, нумерация выводов модулей приведена на рис. 11, схема внутренних соединений — на рис. 12.

УФ-модули LZ4-00U600 применяются в тех же областях, что и рассмотренные выше приборы. Модули LZ4-00UA00, LZ4-00D100, кроме того, предназначены для отверждения полимеров в стоматологии (Dental Curing) и отбеливания зубов, отверждения красок и клеев, производства DNA-гелей. Отличия касаются размеров модулей (7×7 мм) и теплового сопротивления (1,1 °С/Вт). Выпускаются и конструктивные исполнения на платах МСРСВ с последовательно соединенными светодиодами (LZ4-00U600, LZ4-00UA00) и с независимыми выводами от всех кристаллов (LZ4-00D100). Диаметр плат МСРСВ 19,9 мм, номинальное прямое напряжение/ток — 16,4 В/0,7 А (LZ4-00U600);

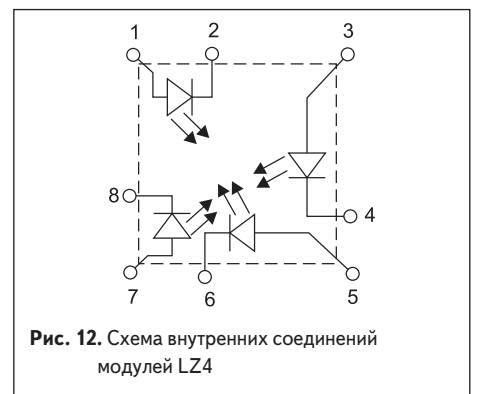


Рис. 12. Схема внутренних соединений модулей LZ4



Рис. 13. Внешний вид модулей LZ1

15,6 В/0,7 А (LZ4-00UA00); 3,5–3,9/4 × 0,7 А (LZ4-00D100). Тепловое сопротивление связки модуль+МСПСВ — 1,1+1,1 = 2,2 °С/Вт.

Исполнения по пиковым длинам волн излучения: бин U0 — 365–370 нм; U1 — 370–375 нм (LZ4-00U600); U4 — 385–390 нм; U5 — 390–395 нм; U6 — 395–400 нм; U7 — 400–405 нм; U8 — 405–410 нм (LZ4-00UA00); U5–U8 (те же значения $\lambda_{\text{пик}}$); D1 — 457–463 нм (LZ4-00D100).

Исполнения по значению мощности излучения при $I_{\text{пр}} = 0,7$ А: бин L — 0,8–1 Вт; M — 1–1,25 Вт; N — 1,25–1,6 Вт (LZ4-00U600); P — 1,6–2 Вт; Q — 2–2,4 Вт; R — 2,4–3 Вт; S — 3–3,8 Вт (LZ4-00UA00). Значение мощности излучения (Φ) модулей LZ4-00D100 находится в пределах 0,41–1 Вт (УФ-кристаллы) и 1,6–2,4 (три «синих» кристалла).

Модули серии LZ1

В состав серии входят УФ-модули LZ1-00UV00, LZ1-00U600 и «фиолетовый» модуль LZ1-00UA00, в каждый модуль интегрирован один светодиодный кристалл с рейтинговой мощностью 3–5 Вт. Внешний вид приборов показан на рис. 13. Размеры модулей 4,4×4,4 мм, тепловое сопротивление 4,2 °С/Вт. Выпускаются конструктивные исполнения модулей на платах МСПСВ диаметром 11 и 19,9 мм. Основные параметры приборов:

- величина радиометрического потока — 210–512 мВт (LZ1-00U600), 512–1000 мВт (LZ1-00UV00), 410–1000 мВт (LZ1-00UA00);
- пиковая длина волны — 365–375 нм (LZ1-00U600), 360–370 нм (LZ1-00UV00), 385–410 нм (LZ1-00UA00);
- прямое напряжение при $I_{\text{пр}} = 700$ мА — 3,68–4,88 В (LZ1-00U600), 3,5–4,5 В (LZ1-00UV00), 3,2–4,4 В (LZ1-00UA00);
- максимальная температура кристаллов — +100 °С (LZ1-00U600), +130 °С (LZ1-00UV00), +125 °С (LZ1-00UA00);
- ширина диаграммы распределения силы излучения $2\theta_{1/2}$ — 85° (LZ1-00U600, LZ1-00UA00), 70° (LZ1-00UV00).

В заключение приведем данные компании по применению УФ-модулей серии LZC-00U600 для сушки поверхностей. Энергетическая освещенность облучаемых поверхностей зависит от величины радиометрического потока излучения модулей, их числа и расстояния между ними, расстояния до облучаемой поверхности, диаграммы распределения

силы излучения и эксплуатационных факторов (рабочая температура кристалла T_j , использование отражателей). Компания приводит данные измерений энергетической освещенности поверхностей одним модулем и линейкой из трех модулей при расстоянии до облучаемой поверхности 14,7 и 10 мм.

На рис. 14 приведена зависимость энергетической освещенности от положения датчика измерительного приемника при расстоянии до поверхности 14,7 мм и величине радиометрического потока 1 Вт, максимум освещенности при этом составляет 0,017 Вт/мм² (0,17 Вт/см²). При увеличении радиометрического потока до типового значения 1,9 Вт ($I_{\text{пр}} = 700$ мА) освещенность увеличивается до 0,32 Вт/см² ($T_j = +25$ °С). При увеличении температуры кристаллов модулей освещенность уменьшается, на-

пример при $T_j = +45$ °С — до 0,25 Вт/см². Энергетическая освещенность существенно увеличивается при уменьшении расстояния до облучаемой поверхности, например при расстоянии 10 мм — до 0,63 Вт/см² (при $T_j = +45$ °С — до 0,5 Вт/см²).

На практике для сушки поверхностей используют линейки из большого числа модулей, перемещающиеся вдоль облучаемой поверхности. На рис. 15 показаны зависимости энергетической освещенности от пространственного положения для линейки из трех модулей при расстоянии до поверхности 10 мм (расстояние между центрами модулей 10 мм). При величине радиометрического потока 1 Вт энергетическая освещенность на линии максимума диаграммы направленности составляет 0,51 Вт/см², при $\Phi = 1,9$ Вт ($I_{\text{пр}} = 700$ мА на модуль) — 0,97 Вт/см² ($T_j = +25$ °С) и 0,77 Вт/см² ($T_j = +45$ °С).

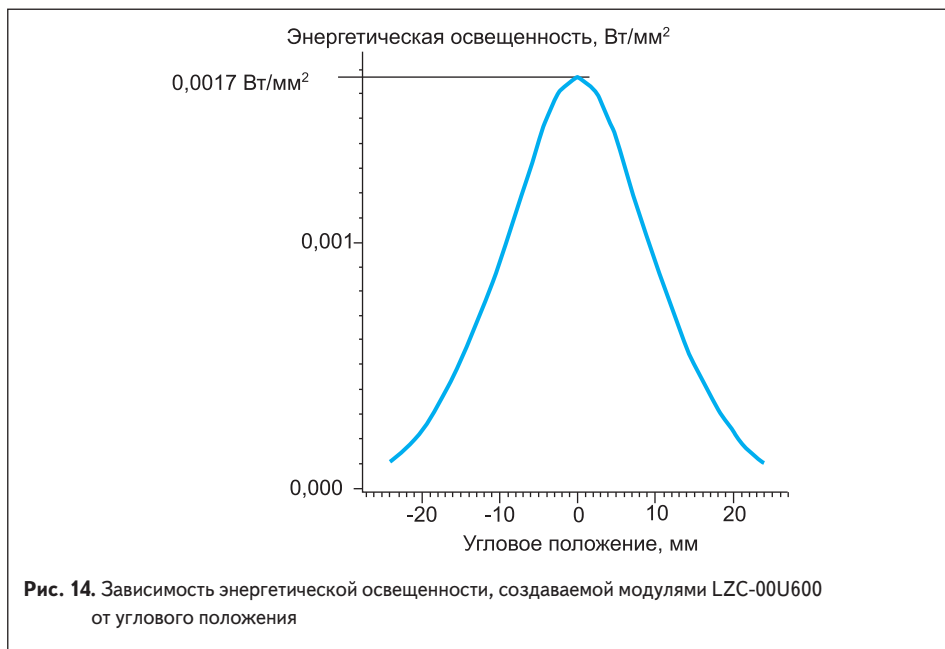


Рис. 14. Зависимость энергетической освещенности, создаваемой модулями LZC-00U600 от углового положения

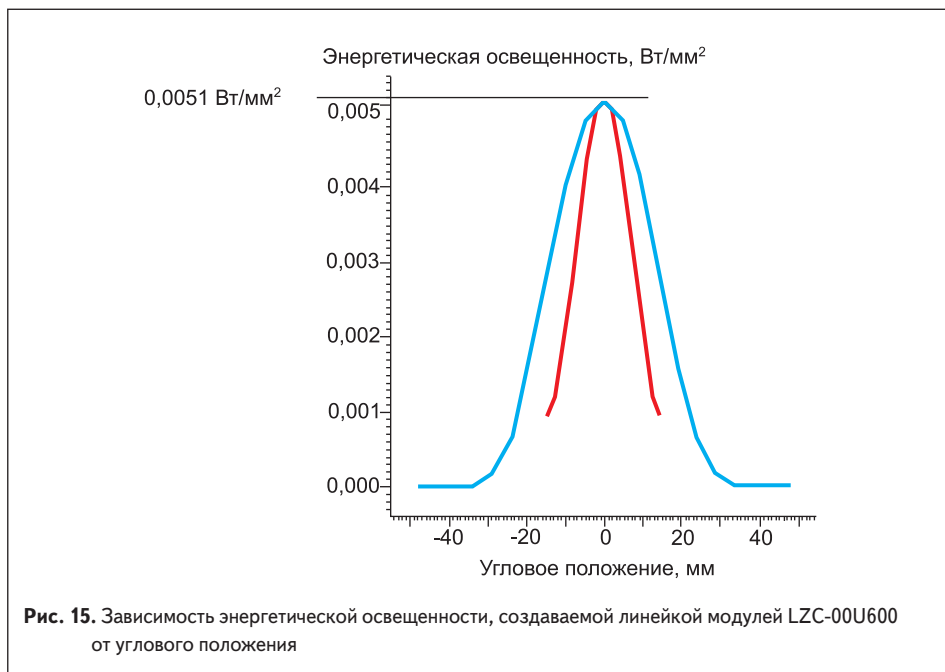
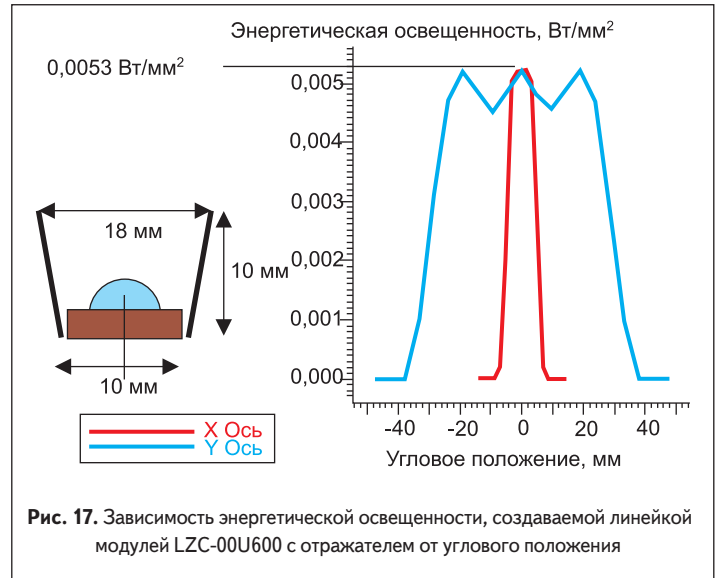
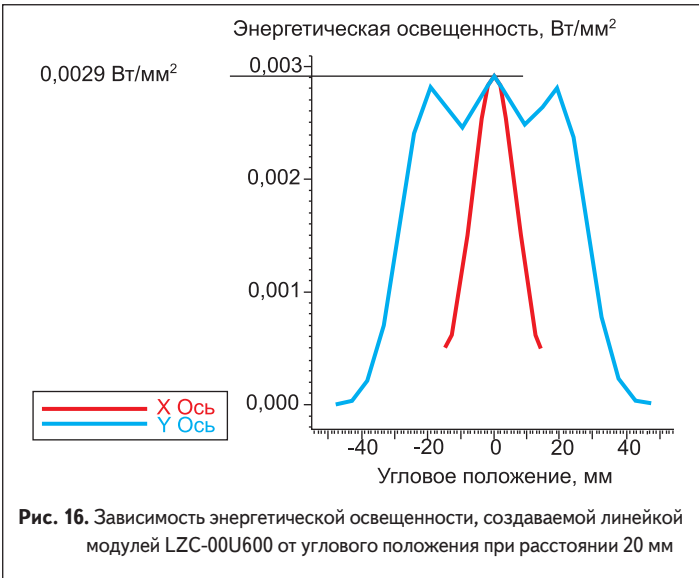


Рис. 15. Зависимость энергетической освещенности, создаваемой линейкой модулей LZC-00U600 от углового положения



С целью уменьшения стоимости системы УФ-сушки расстояние между модулями можно увеличить: на рис. 16 показаны соответствующие зависимости при расстоянии между центрами модулей 20 мм. Максимумы энергетической освещенности составляют 0,55/0,44 Вт/см² ($T_j = +25/+45$ °C).

Дальнейшее увеличение энергетической освещенности дает применение отражателей. На рис. 17 приведены зависимости энергетической освещенности от пространственного положения для трех модулей, размещенных на расстоянии 20 мм друг от друга с общим рефлектором. Энергетическая освещенность

для такой конструкции составляет 1/0,8 Вт/см² ($T_j = +25/+45$ °C).

В 2013 г. LED Engin представила новый однокристалльный УФ-модуль LZ1-00UV00 с улучшенной вдвое энергетикой в сравнении с серийным УФ-модулем LZ1-00U600, что позволило новому прибору занять лидирующие позиции в сравнении с аналогичными продуктами ведущих производителей. В таблице приведены основные параметры УФ-модулей компаний Nichia, Seoul Semiconductor, LG Innotek и модуля LZ1-00UV00 LED Engin. Приведенные в таблице данные показывают, что новый модуль компании заметно превосходит приборы конкурентов по основным показателям, при этом его габариты меньше.

Т а б л и ц а . Сравнительные характеристики

Производитель	Nichia	Seoul	LG	LED Engin
Тип прибора	NCSU033B	CUN6AF1A	LEUVA66M20R-V00	LZ1-00UV00
Длина волны, нм	360–370			
$I_{пр}$ (max), мА	700			800
$I_{пр}$ (типовой), мА	500			700
$\Phi_{тип}$ ($T_j = +25$ °C), мВт	450	385	325	800
$\Phi_{max\ бин}$ ($T_j = +25$ °C), мВт	590–640	550	390	800–1000
Снижение Φ при $T_{корп} = +100$ °C, %	25	10	15	15
Ширина диаграммы направленности, град.	120	110	113	70
Размеры прибора, мм	6,8×6,8	6,3×6,3	6×6	4,4×4,4
Тепловое сопротивление, °C/Вт	4,4	8,5	9	4,2

Литература

- <http://investing.businessweek.com/research/stocks/private/person.asp?personId=303722428&privcapId=28549543>
- www.ledengin.com/products/