

# Компоненты Citizen и LEDIL для освещения растений в теплицах

**Дмитрий Полковников, dv@citiled.ru**  
**Дмитрий Зуев, zuev@citiled.ru**  
**Екатерина Ильина, tech.support.rus@ledil.com**  
**Сакен Юсупов, saken.jusupov@ledil.com**

*Светодиодная светотехника – современный бизнес, который уверенно растет даже на фоне кризиса в макроэкономике многих стран. А тепличное освещение – один из наиболее перспективных сегментов светотехнического бизнеса, т.к. в теплицах выращивают еду, а едят люди с завидной регулярностью. И если мы говорим о бизнесе, то начинать следует с анализа рынка и понимания его емкости.*

В 2015 г. общая площадь теплиц в России составляла около 2000 га. Из них теплицы с искусственным освещением занимают 27%, т.е. около 545 га. В теплицах выращивают:

огурцы на площади 157 га. На долю салата и прочей зелени приходится 40 га, томаты занимают 20 га, цветы – 148 га и рассада – 180 га.

Для успешного роста растений в теплицах необходимо обеспечить освещенность на уровне 10–25 клк. Для этого применяют до 3000 шт. 600-Вт светильников из расчета на 1 га. Световая отдача используемых ламп достигает 150 лм/Вт. Таким образом, удельная установленная электрическая мощность составляет 250 Вт/м<sup>2</sup>. В 2015 г. общее количество установленных светильников в теплицах равнялось 950 000 шт. В конце 2016 г. общая площадь теплиц со светокulturой достигла 700 га [1].

Рынок тепличного освещения достаточно интересен для бизнеса. Далее посмотрим, что, как и чем освещают растения в теплицах. В настоящее время существуют три основных способа тепличной подсветки: верхнее,



**Рис. 1. Тепличное освещение помогает обеспечить успешный рост растений**

межрядное и многоярусное освещение (см. рис. 2).

Поясним, какими понятиями мы оперируем, говоря о свете с точки зрения роста растений:

1. Фотон – элементарная частица, квант электромагнитного излучения (в узком смысле – света).
2. Фотосинтетический поток фотонов, или PPF (photosynthetic photon flux), мкмоль/с.
3. Фотосинтетически активная радиация, или ФАР – часть доходящей до биоценозов радиации в диапазоне 400–700 нм, используемая



Светильники над растениями



Межрядное освещение



Многоярусные системы

**Рис. 2. Типы освещения в теплицах**

растениями для фотосинтеза. Поскольку фотоны с более короткой длиной волны обладают слишком большой энергией, они могут повредить клетки. Однако эти частицы света, по большей части, отфильтровываются озоновым слоем в стратосфере.

4. Поскольку кванты с большими длинами волн обладают недостаточной энергией, большинство организмов их не использует для фотосинтеза. ФАР, которую измеряют в микромолях фотонов ( $\mu\text{моль}/\text{м}^2/\text{с}$ ), является плотностью фотосинтетического фотонного потока (photosynthetic photon flux density, PPF).

Хлорофилл, самый распространенный пигмент, наиболее эффективно поглощает красный и синий свет. Вспомогательные пигменты, к которым относятся каротиноиды и ксантофиллы, поглощают некоторое количество зеленого и синего света и передают его в реакционный центр фотосинтеза. Однако большая часть зеленой составляющей спектра отражается, придавая листьям их характерный цвет.

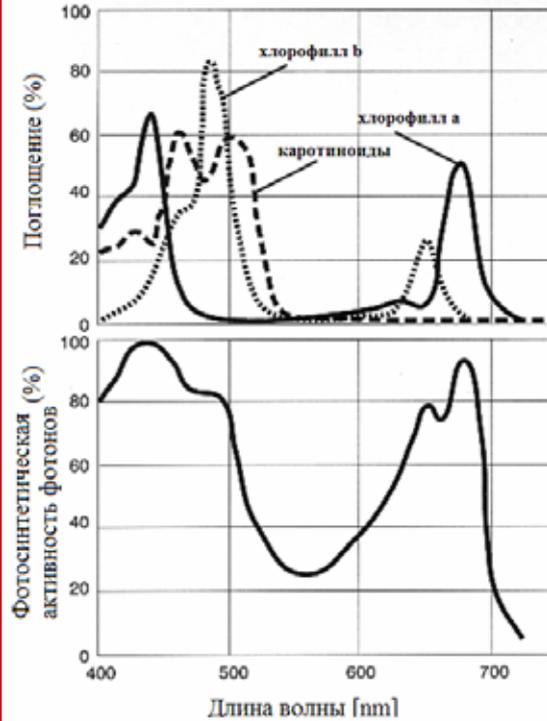
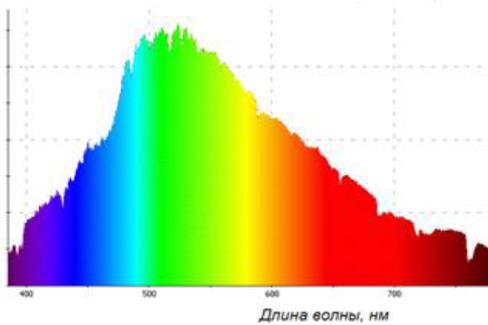


Рис. 3. Спектры поглощения хлорофилла

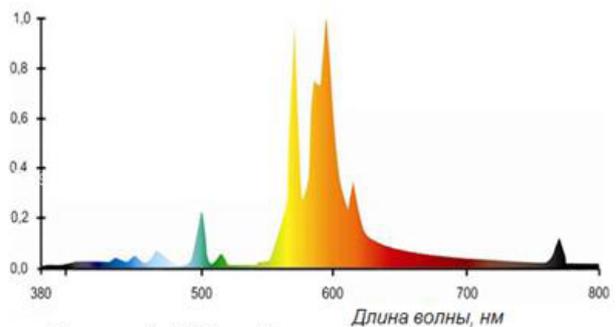
Кроме того, количество хлорофилла *a* и хлорофилла *b* в листьях растений неодинаково: хлорофилла *a* больше в 2,5–4 раза (поскольку это соотноше-

ние существенно меняется в зависимости от вида растения и условий его выращивания, эти числа приведены только для общего понимания).

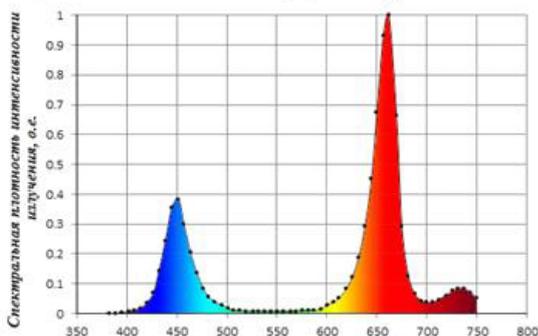
Естественный свет (D65)



Натриевая лампа высокого давления



Красно-синий СД-облучатель



Белый СД-облучатель

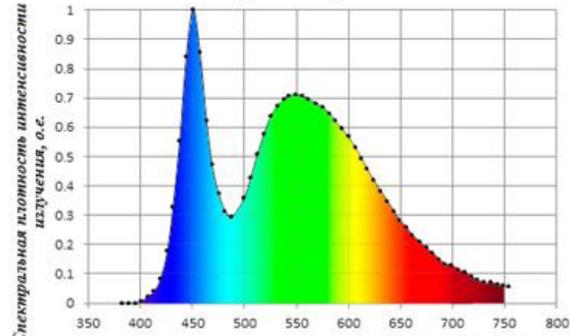


Рис. 4. Спектральный состав разных источников света

Хлорофилл в наиболее полной мере поглощает красное и сине-фиолетовое излучение. Небольшая разница в строении молекулы хлорофиллов *a* и *b* обуславливает некоторую разницу в поглощении ими света. Хлорофилл *a* в наиболее полной степени поглощает свет с длиной волны 670, 680, 700 и 435 нм, а хлорофилл *b* – 650 и 480 нм.

Спектр действия ФАР в сравнении со спектрами поглощения хлорофилла *a*, хлорофилла *b* и каротиноидов показан на рисунке 3.

Как видно из графика, эффективность разных длин волн с точки зрения поглощения света растением отличается значительно. Однако на поглощаемости дело не заканчивается, эффективность фотонов тоже различна.

Высокий уровень баланса поглощаемость/эффективность наблюдается в синей части спектра в диапазоне 440–460 нм, а также в красной части спектра в диапазоне 650–680 нм. Эти диапазоны обладают наибольшей эффективностью для использования в искусственном освещении растений.

Как бы то ни было, для освещения теплиц, как правило, используются лампы ДНаТ и ДНАЗ, спектр которых далек от идеального (см. рис. 4), но на практике они обеспечивают достойные результаты как раз благодаря высокому уровню освещенности и отлаженной технологии выращивания, которая оттачивалась годами и десятилетиями.

В результате на практике применяется хорошо отлаженная технология выращивания разных культур, основу

которой, с одной стороны, составляют натриевые лампы. С другой стороны, многие энтузиасты использования светодиодного освещения пытаются доказать, что оно эффективнее решает те же задачи для теплиц, т.к. имеет более «правильный» спектр. Однако на практике мы не наблюдаем особых успехов в этом направлении, на что имеется несколько причин. Перечислим основные из них.

1. Проведя лабораторные испытания и получив более или менее убедительные результаты, сторонники светодиодного освещения надеются получить схожие показатели при освещении теплиц, не учитывая, однако, влияния солнечного света, который вносит свой вклад в «неправильный» спектр натриевой лампы и сводит на нет все теоретические преимущества светодиодного освещения перед ДНаТ.
2. Замена источника света влечет за собой изменение или корректировку всей технологии (систему питания растений, потребление углекислого газа и т.д.), которая оттачивалась годами в каждой теплице. Кроме того, у натриевых ламп – меньший КПД по сравнению со светодиодными лампами, а это значит, что у ДНаТ в тепло уходит больше энергии. Соответственно, натриевые лампы в большей мере нагревают окружающее пространство, чем светодиоды. В результате замены натриевых ламп светодиодными изменится тепловой баланс теплицы, и его обязательно придется корректировать, увеличив долю газового (или другого) отопления.

Иначе урожай будет меньше уже не по причине световой составляющей, а из-за некомфортной для развития растений температуры, которая сведет на нет все усилия по подбору спектра.

3. Стабильность спектра светодиодного излучателя. Известно, что основное направление в получении требуемого для выращивания растений спектра – комбинирование дискретных светодиодов (синий, белый, красный). Кроме того, стабильность системы определяется стабильностью ее самого слабого звена. В рассматриваемом случае слабым звеном является красный кристалл, который деградирует значительно быстрее других компонентов. В результате спектр светодиодного излучения значительно меняется со временем. Тем немногим представителям производителей этих светодиодов, которые могут не согласиться с таким выводом, адресуется вопрос – почему даже такой передовой игрок как Philips, обеспечивающий солидный показатель 2,8 мкмоль/Дж, сделал упор на межрядное и комбинированное освещение наряду с использованием натриевых ламп? Понятно, что межрядное освещение повышает урожайность, особенно таких культур как огурцы, верхние листья которых в значительной мере затеняют листья внизу. Благодаря дополнительному облучению освещенность культуры увеличивается. Если же она не «пересвечена», эффект межрядного освещения приводит к увеличению урожая.

Таким образом, получить светодиодный облучатель для выращивания растений со стабильным спектром можно в двух случаях.

1. Если имеется устойчивый к деградации красный кристалл, характеристики которого существенно не меняются при нагревании.
2. Если используются COB-матрицы на базе голубых кристаллов, а заданный спектр обеспечивается с помощью люминофора. И в этом случае мы сталкиваемся с проблемой деградации из-за большой доли красного люминофора. Таким образом, на первое место снова выходит качество люминофора.

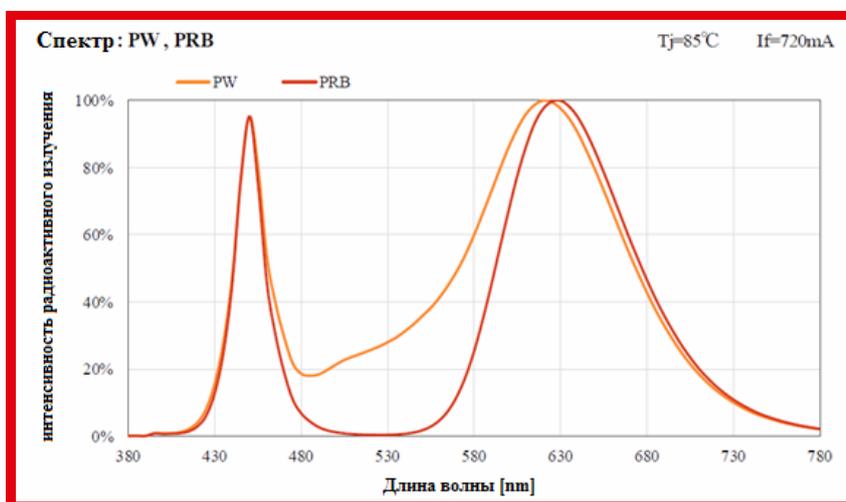


Рис. 5. Спектры светодиодов PW и PRB

Таблица 1. Параметры светодиодов CLU050-400/170-01

	Цвет	Прямой ток, А	Напряжение, В			Световой поток, лм		PPF, мкмоль/с		APPF, мкмоль/с		
			мин.	тип.	макс.	мин.	тип.	мин.	тип.	мин.	тип.	
CLU050H-400/170-PW-/01	Plant W	1,62	95,6	103,9	112,3	12700	14400	245,3	288,6	165,3	194,5	0,15
CLU050H-400/170-PRB-/01	Plant RB	1,62	95,6	103,9	112,3	8050	9150	234,2	275,6	191,7	225,6	0,15



Рис. 6. Цветопередача светодиодов PRB и PW

Именно по второму пути пошла компания Citizen Electronics, создав COB-матрицы для выращивания растений на базе голубых кристаллов и качественных люминофоров. В настоящее время выпускаются светодиодные матрицы мощностью 25–400 Вт.

Для тепличного освещения были созданы два решения с разными спектрами – White с официальным названием PW (plant white) и W-peak, или PRB (plant red/blue), спектры которых представлены на рисунке 5.

Важным фактором при выборе источника света для верхнего освещения тепличных комплексов является цветопередача. Спектр White (PRB) имеет более благоприятный спектр для выращивания растений и работы людей в тепличном хозяйстве. На ри-

сунке 6 хорошо видна разница между спектрами светодиодов PRB и PW.

В настоящее время в теплицах нашли широкое применение светильники на лампах ДНаТ (см. рис. 7).

Мы рассмотрим возможность прямой замены натриевых ламп светодиодными матрицами Citizen. Чтобы объективнее оценить эффективность ФАР, компания Citizen ввела понятие Active PPF – «активный фотосинтетический поток фотонов» в диапазоне 400–700 нм, в котором исключена область 510–610 нм – наиболее активная часть спектра с точки зрения процесса фотосинтеза.

В светодиодном светильнике для теплиц можно порекомендовать использовать матрицы со специальными спектрами Wpeak и White, поскольку



Рис. 8. Радиатор в сборе



Рис. 9. Фото FN15186\_STELLA-HB



Рис. 10. Фото FN15186\_STELLA-HB-WWW

Таблица 2. Сравнение ДНаТ и LED Citizen

Производитель	ДНаТ		Светодиодная	
	Philips		Citizen	
	HORTY		W-peak Horticulture LED	White Horticulture LED
Наименование				
PPF (мкмоль/Дж)	1,57	1,85	1,84	1,90
A-PPF (мкмоль/Дж)	0,58	0,69	1,51	1,90

у них самый высокий показатель APPF (см. табл. 1). В рассматриваемом случае мы станем сравнивать не PPF, как это принято, а APPF, т.е. более эффективную часть спектра, которая ближе к реальной оценке эффективности фотосинтетического потока (см. табл. 2).

В качестве показателя деградации светового потока в данных решениях используется L70. Этот порог будет достигнут после 70000 ч, чего, как

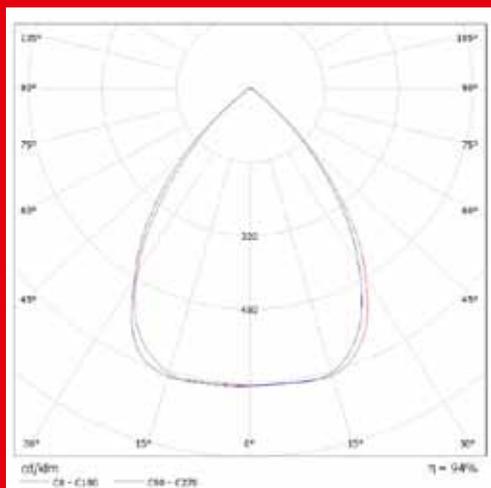


Рис. 11. Диаграмма Stella-HB

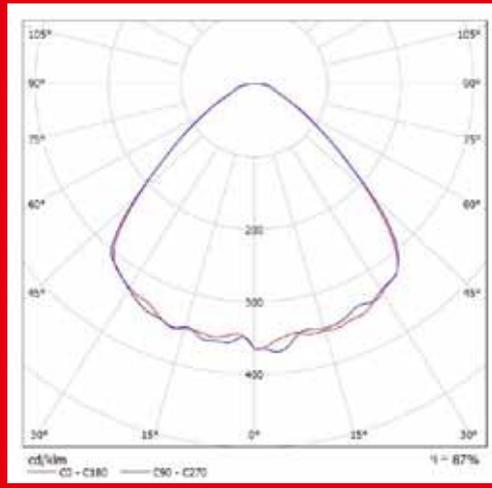


Рис. 12. Диаграмма Stella-HB-WWW

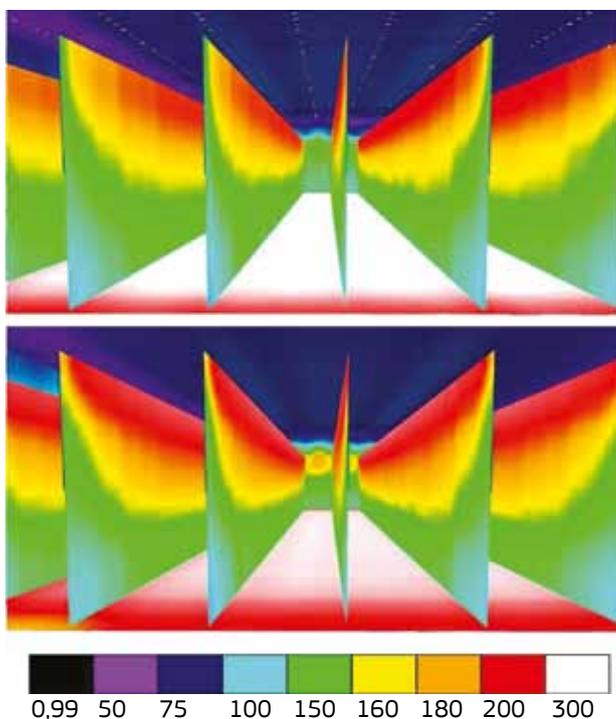


Рис. 13. Распределение света по горизонтальной и вертикальной поверхностям с учетом затенения растениями (сверху – с использованием оптики Stella-HB, снизу – со Stella-HB-WWW)

Кроме того, для эффективного освещения теплиц следует правильно направить свет на растения, не расходуя его впустую на освещение неба или стен. Для решения этой задачи необходима вторичная оптика. Какой она должна быть?

Во-первых, оптика должна направлять свет от светодиода в заданный световой конус. Во-вторых, оптика должна герметично защищать светодиод от пыли, влаги и от механических воздействий. В-третьих, оптика должна быть удобной для сборки светильника.

Всем этим требованиям соответствуют линзы компании LEDIL FN15186\_STELLA-HB и FN15186\_STELLA-HB-WWW, представленные на рисунках 9–10.

Держатель диаметром 90 мм крепится к радиатору четырьмя винтами. Этот держатель прижимает к радиатору линзу, изготовленную из оптического силикона. Эластичная линза служит также герметизирующей прокладкой, обеспечивая защиту светодиода от пыли и влаги до уровня IP67. Световая диаграмма этих линз представлена на рисунках 11–12.

В качестве примера рассмотрим модель освещения теплицы для выращивания огурцов светильниками со светодиодами CLU05H и оптикой LEDIL.

нам представляется, более чем достаточно. Хотя и в этом случае возможны варианты – компания Citizen предлагает решение L90 после 70000 ч.

Мощные светодиодные матрицы требуют хорошего охлаждения, а тепличные конструкции не следует нагружать тяжелыми гирями литых алюминиевых радиаторов. Для свето-

диодного фитосветильника наилучшим образом подойдут радиаторы HB-WHP-1000-A/B японской компании FURUKAWA (см. рис. 8).

Эти радиаторы обеспечивают оптимальный температурный режим для работы светодиодной матрицы CLU050-400/170-01. Для 280-Вт режима подходит радиатор весом всего 1 кг.

Таблица 3. Результаты светотехнического расчета теплицы с огурцами

Оптика	КПД, %	Контрольный участок	PPFDср, лк	PPFDмин., лк	PPFDмакс., лк	PPFDмин./PPFDср.	PPFDмин./PPFDмакс.
FN15186_STELLA-HB	93	гориз.	323	312	340	0,965	0,917
		вертик.	151	121	186	0,799	0,65
FN15264_STELLA-HB-WWW	87	гориз.	282	269	293	0,953	0,916
		вертик.	157	116	225	0,741	0,517

Теплица имеет размеры 50×16 м высотой 4,5 м. Для выращивания огурцов используются шпалеры, к которым крепятся ветки. Их высота зависит от сорта выращиваемых огурцов. Осветим 10 грядок огурцов; расстояние между осями грядок – 1,6 м [2]), высоту установки шпалер примем равной 3,1 м.

Поскольку точно учесть затенение от огуречных листьев невозможно, представим грядки в виде горизонтальных непрозрачных поверхностей (см. рис. 13). Поскольку листья растут не только в вертикальной, но и в горизонтальной плоскостях, необходимо, чтобы распределение света было достаточно равномерным в этих обеих плоскостях. Требуемый PPFD – не менее 150 мкмоль/м<sup>2</sup>/с.

Светильники расположим на высоте 4,2 м в линию между грядками

с шагом 0,64 м. Количество светильников в линии – 78 шт., количество линий – 9 шт. Количество матриц CLU05H/оптики в светильнике – 1 шт., PPFD = 480,2 мкмоль/с, мощность – 280 Вт. Суммарная мощность облучателей в теплице – 196,6 кВт.

Результаты расчета приведены в таблице 3.

### ВЫВОДЫ

Мы рассмотрели компоненты и технологии, позволяющие создавать тепличные светодиодные светильники взамен традиционных ламп ДНаТ. Новые светодиодные светильники значительно превосходят старые ламповые осветительные установки по долговечности, спектральным характеристикам и энергоэффективности. Внешние светодиодные светильники пока еще дороже ламповых, но если

вспомнить эволюцию цен на светодиодные светильники для автодороги, то можно смело делать прогноз, что через пару лет ДНаТ уступят место светодиодному освещению. В настоящее время компания Citizen предлагает CoB-матрицы с идеальными спектрами для роста растений, а компания LEDIL, производящая удобную и эффективную оптику, может бесплатно помочь сделать светотехнический расчет всем, кому требуется помощь в организации правильного освещения теплицы.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Прикупец Л. Б. Материалы доклада ВНИСИ на Светотехнической конференции в Саранске 15.03.2017.
2. РД-АПК 1.10.09.01–14. Методические рекомендации по технологическому проектированию теплиц и тепличных комбинатов для выращивания овощей и рассады.