

Светодиодные облучатели и перспективы их применения в теплицах

Л.Б. Прикупец, к.т.н., зав. лаб. ВНИСИ им. С.И.Вавилова,
вед. консультант ООО «БЛ ТРЕЙД»

Настоящая статья написана с целью изложить преимущества и недостатки сверхярких светодиодов (СД), попытаться удовлетворить растущий интерес специалистов тепличной отрасли к этим новым источникам света и ответить на многочисленные вопросы о возможности их использования для освещения растений в теплицах.

История развития современных светодиодов насчитывает несколько десятилетий (первый красный СД мощностью всего несколько мВт появился в 1962 г.), однако наиболее высокие темпы изменения их основных параметров характерны именно для последнего десятилетия. Не случайно, СД часто называют, в связи с этим, “источником света XXI века”.

Принципиальная конструкция современного сверхяркого СД показана на рис. 1. Основным элементом его является светоизлучающая кристаллическая InGaN структура (для наиболее массового продукта – белого СД).



Рис. 1. Принципиальная конструкция современного светодиода.

В настоящее время большинство фирм-лидеров в области СД выпускает стандартный набор селективных излучателей следующих цветов: синий, голубой, зеленый, оранжевый (янтарный) и красный; соответствующие спектры этих СД приведены на рис. 2. Цветные СД находят достаточно широкое применение в традиционной светотехнике для целей архитектурной и ландшафтной подсветки, сигнализации, индикации и т.д.

СД с белым свечением получают двумя принципиально различающимися способами: либо интегрированием в одной СД - конструкции трех кристаллов, излучающих в синей, зеленой и красной области (это, так называемые, RGB-системы), либо использованием кристалла с синим свечением, излучение которого преобразуется в белое с помощью специ-

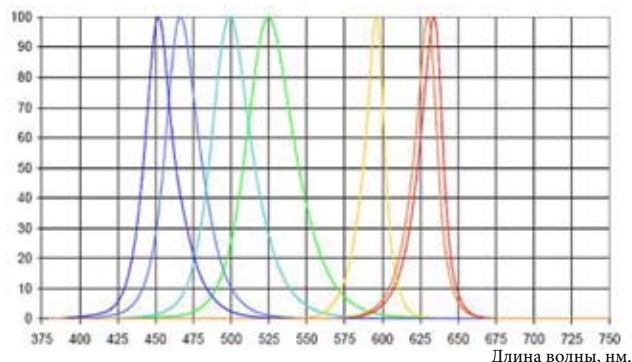


Рис. 2. Типовые спектры излучения цветных светодиодов.

ального люминофора. Широкие возможности вариаций спектра у RGB-системы, как нам представляется, могут быть широко востребованы именно для целей выращивания растений.

Системы второго типа имеют, как правило, более высокую световую эффективность и считаются более перспективными для целей общего освещения. Характерные спектры излучения белого СД второго типа представлены на рис. 3. Отметим, что “белый” свет может иметь несколько цветовых оттенков, отличающихся цветовой температурой. “Холодный белый” - имеет высокую цветовую температуру, увеличенную долю излучения в синей части и уменьшенную – в красной, “тепло-белый” - наоборот.

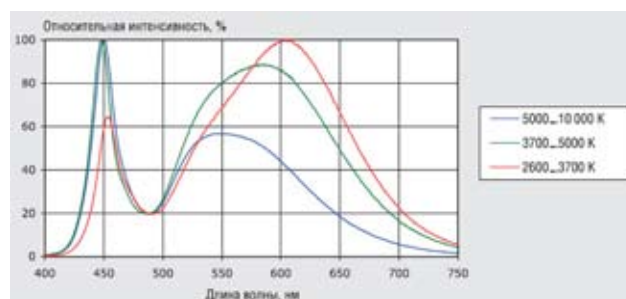


Рис. 3. Характерные спектры излучения белых светодиодов.

Анализ достигнутого технического уровня, оценку основных технико-экономических параметров и перспектив их улучшения в ближайшие годы удобно провести на примере белых СД. Наиболее распространенная единичная мощность белых СД, исполь-

зуемых в современных световых приборах, - порядка 1 Вт, что соответствует протекающему через кристалл току около 0,35 А.

В некоторых случаях, в литературе можно встретить утверждения о использовании более мощных СД с единичной мощностью 3 – 4 Вт, однако весьма часто, на самом деле, речь здесь идет о применении интегрированной конструкции из нескольких СД с номинальной мощностью 1 Вт. К сожалению, возможности создания СД с более высокой единичной мощностью кристалла (хотя бы на уровне 7-10 Вт) на основе применяемых в настоящее время технологических принципов довольно жестко ограничиваются значениями предельно допустимой температуры кристалла, самым прямым образом влияющей и на световой поток СД и на его срок службы.

Таким образом, важнейшей проблемой современных СД является поиск технических решений, обеспечивающих эффективный теплоотвод от излучающего кристалла. Принимаемые сейчас традиционные меры (в том числе, использование водяного охлаждения или микровентиляторов) вряд ли могут способствовать более широкомасштабному использованию СД - устройств.

Очень часто можно прочесть или услышать о том, что срок службы СД достигает запредельной величины – 100 тыс. час., однако при этом не говорится о конкретной величине спада светового потока и о том, в каких условиях должен работать этот СД. Реальные же данные говорят о том, что фирмами – мировыми лидерами в области СД в настоящее время, в качестве последнего достижения, декларируется срок службы порядка 30 тыс. час. при спаде светового потока белого СД на уровне 20 – 30 %. Отметим, что используемые в современном тепличном растениеводстве натриевые лампы высокого давления (НЛВД) имеют достаточно близкие показатели по ресурсу (аналогичный спад светового потока к 20 тыс. час.).

Тем не менее динамика изменений световых параметров СД впечатляет. На рис. 4 приведена диаграмма, характеризующая рост достигнутой на практике световой отдачи СД в последнее десятилетие и прогноз по этому важнейшему параметру, определяющему эффективность СД, на последующие 15 лет (по данным ф. Cree, США – одной из ведущих фирм-производителей). Отметим, что эти данные были опубликованы в 2008 г., и сейчас можно отметить, что прогнозируемый уровень световой отдачи на 2010 год уже достигнут на практике. Существуют другие, еще более оптимистические прогнозы роста световой отдачи СД, однако мы предпочитаем ориентироваться на эти, опубликованные специалистами

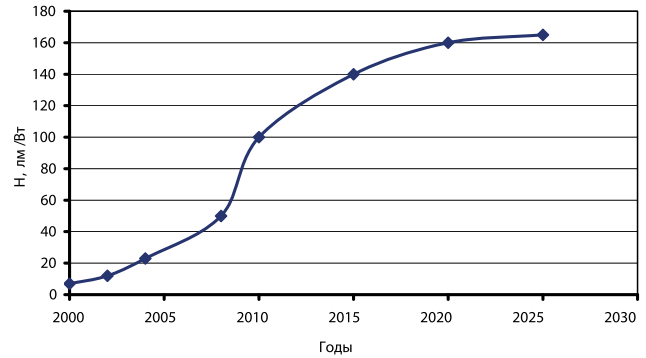


Рис.4. Изменение световой отдачи серийно производимых белых светодиодов по годам

ми фирмы-лидера в производстве высокоэффективных СД.

Приведем еще два числовых значения, в связи со световой отдачей СД: 263 лм/Вт – теоретический предел значения этого параметра для белых СД (который вряд ли будет достигнут) и 145 – 150 лм/Вт – это уровень световой отдачи широко применяемых в теплицах современных НЛВД, который может быть достигнут СД только, примерно, к 2015 году.

Для источника света, используемого в таком энергоемком процессе, как дополнительное освещение растений, необходимо иметь возможно более высокий к.п.д. в области ФАР. Для современных НЛВД он составляет 32 – 33 %, аналогичный показатель для СД находится пока на уровне 25 – 30 %.

Одной из самых крупных надежд, которые связывают с применением СД в растениеводстве защищенного грунта (и она уже реализуется в традиционной светотехнике) является возможность достаточно простого управления спектром СД в области ФАР и его регулирования в широких пределах. В наиболее простом варианте эта возможность реализуется в уже упоминавшихся RGB-системах; в более сложном – благодаря использованию специальных кластеров с цветными СД, к которым могут быть добавлены СД, излучающие в ближней ИК-области и УФ-“А”-диапазоне спектра.

Регулирование по мощности и световому потоку достаточно легко осуществляется и для белых СД. Характерная зависимость, близкая к линейной функции, связывающая интенсивность излучения с электрической мощностью СД приведена на рис. 5

Функцию включения в сеть и управления параметрами СД выполняет специальный пускорегулирующий аппарат или драйвер, который, благодаря использованию современной элементной базы и новейших схемотехнических решений, позволяет обеспечить к.п.д. на уровне 90 %. В наиболее простом и часто используемом в настоящее время варианте в технике общего освещения драйвер обе-

спечивает высокую точность стабилизации рабочего тока и мощности СД-модуля (кластера) при допустимых колебаниях сетевого напряжения и изменениях в широких пределах окружающей температуры.

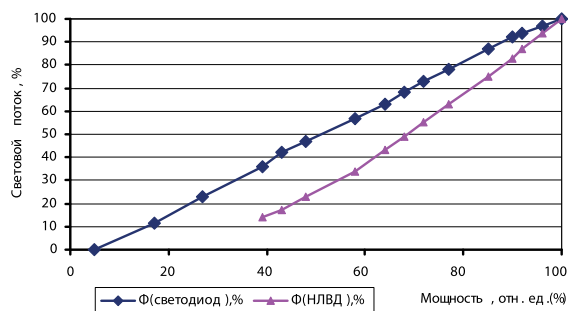


Рис.5. Типовая зависимость светового потока от мощности для светильников на основе СД и НЛВД

Важнейшим фактором, тормозящим более широкое внедрение СД во все области использования светотехники (в том числе, и в тепличное растениеводство) и осуществление «светодиодной революции» уже в настоящее время, является высокая стоимость СД. В светотехнике часто используется для оценки потребительского качества источника света такой критерий, как стоимость единицы генерируемого им светового потока. На рис. 6 представлено изменение этого параметра (долл. США. клм⁻¹) для СД за последние годы с прогнозом до 2015 г. Для СД стоимость единицы светового потока в настоящее время составляет ~ 20 долл. США. клм⁻¹; для справки укажем значение этого параметра для НЛВД типа Plantastar 600 W – 0,4; для метало-галогенной лампы – 0,7 и для люминесцентной лампы 0,4 долл. клм⁻¹. Как видно, по стоимости единицы светового потока современная НЛВД в 50 раз более выгодна потребителю, чем СД - излучатель, к 2015 это соотношение может снизиться до 5 раз, оставаясь все же не в пользу СД.

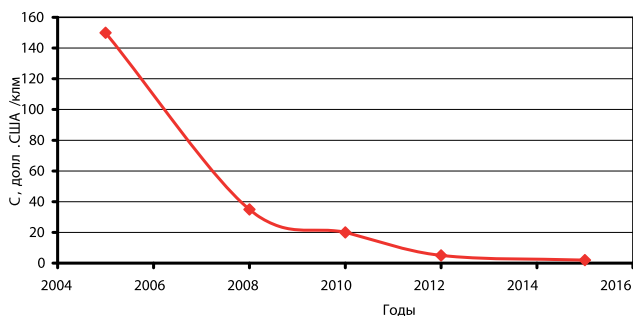


Рис.6. Динамика изменения стоимости единицы светового потока (килолюмен) белых СД по годам.

С учетом приведенных выше данных сформулируем в обобщенном виде основные достоинства и недостатки СД, как нового ИС, применительно к

специфике тепличного освещения.

Достоинства:

1. Достаточно высокая световая отдача (более 100 лм/Вт для белых СД) с перспективой дальнейшего увеличения;
2. Высокий срок службы (до 30 тыс. час.) с перспективой дальнейшего увеличения;
3. Возможность получения излучения любого спектрального состава;
4. Возможность достаточно простого регулирования эл. мощности, интенсивности и спектрального состава излучения;
5. Возможность стабилизации эл. мощности, светового потока при изменении напряжения сети;
6. Высокий к.п.д. и коэффициент использования светового потока облучателей на основе СД;
7. Возможность размещения облучателей со СД непосредственно над растением или непосредственно в ценнозе;
8. Отсутствие пускового периода при включении СД;
9. Возможность создания облучателей с напряжением питания до 40 В, абсолютно безопасным для человека;
10. Высокая степень экологичности СД.

Недостатки.

1. Малая единичная мощность СД (1 – 3 Вт);
2. Более низкая световая отдача, чем у НЛВД;
3. Большое количество СД в облучателе, что ставит дополнительные вопросы по надежности;
4. Сильная зависимость световой эффективности от температуры внутри светильника и на кристалле СД, что не позволяет создавать компактные и мощные облучатели;
5. Полное отсутствие ИК- и УФ-излучения у цветных и белых СД, что не позволяет достаточно просто реализовать требования к полноценному спектру для выращивания растений;
6. Разброс данных по спектру и интенсивности у отдельных СД одного типа;
7. Достаточно большие габариты и вес световых приборов на основе СД, в сравнении с существующими облучателями с НЛВД;
8. Высокая стоимость как самих СД, так и стоимость единицы генерируемого ими светового потока.

После анализа характеристик СД, рассмотрим кратко параметры светового прибора на основе СД, который может, в том числе, использоваться и для облучения растений в защищенном грунте. На рис. 7 представлены стандартный СД ф. Cree (США) мощностью 1 Вт и линейный модуль (кластер), состоящий из 10 таких СД. Длина модуля – 29,5 см, световой по-

ток – 800 лм, удельный световой поток на единицу длины – 27 лм/см.

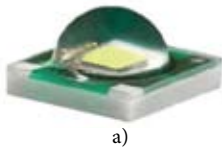


Рис. 7. Примеры СД-конструкций. а) единственный СД ф. Cree; б) фрагмент СД-кластера; в) СД-облучатель «GALAD» ДО-01-80.

Последний показатель весьма важен для понимания возможностей современных СД-облучателей, учитывая, что удельный световой поток на единицу длины стандартной люминесцентной лампы составляет 27 – 38 лм/см, т.е. в 1,0 – 1,4 выше. На том же рис.7 представлен световой прибор типа ДО 01-80 GALAD, разработанный компанией “БЛ Групп” для наружного освещения, с которым планируется начать эксперименты по облучению растений в защищенном грунте. Суммарная электрическая мощность с учетом потерь в драйвере 105 Вт, световой поток 6150 лм; габариты – 350x610 мм, вес 8 кг.

С учетом характеристик этого одного из лучших в своем классе светильников на основе СД, оценим как

выглядела бы современная осветительная установка (ОУ) с использованием СД в теплице площадью 1 Га и заданным уровнем освещенности 10 тыс. лк.

Результаты оценочного расчета приведены в таблице.

Формальная оценка показывает, что, по сравнению со стандартной ОУ с НЛВД 600 Вт, количество светильников со СД возрастет в 12 раз, вес ОУ более чем в 20 раз, а экранируемая площадь ОУ со СД достигнет почти 40 % от площади теплицы. Не приводя конкретных цифр, укажем, что при этом стоимость ОУ на основе СД увеличится, примерно, в 60 (!) раз.

Из приведенных данных очевидно, что на сегодняшний день и на среднесрочную перспективу светотехнические и экономические параметры СД не позволяют им успешно конкурировать с используемыми системами освещения теплиц на основе НЛВД. О возможностях массового внедрения на рынок тепличного освещения световых приборов на основе СД не может быть и речи в ближайшие 5 – 7 лет.

Тем не менее уже сейчас просматриваются некоторые возможные задачи, в решении которых применение СД представляется перспективным. На протяжении нескольких последних лет в ряде стран проводятся фотобиологические эксперименты, целью которых является, в основном, исследование возможностей фоторегуляторного действия цветных СД, влияние излучения СД на развитие проростков, молодых растений и меристемную культуру. Эти эксперименты с использованием СД находятся в достаточно активной, но начальной стадии; носят пробный характер, не претендуя, как правило, на получение обобщенных результатов.

Тем не менее такие исследования весьма важны и их следует более активно развивать и у нас в стране, на современном научно-техническом уровне решая вопросы планирования эксперимента, выбора эффективных СД и других технических средств, метрики оптического излучения и оценки полученных результатов. Весьма важно отметить, что благодаря возможностям достаточно простого регулирования спектра СД, значительно проще может быть исследован и реализован потенциал “оптимизации спектра” для конкретных культур и задач выращивания. Именно на этой основе могут быть достигнуты значительные эффекты в экономии электроэнергии сначала в экспериментальных фитоустановках, а затем и в теплицах.

| | Мощность единичного ИС | Мощность светильника | Уровень освещенности, Клк | Кол-во светильников, шт | Вес ОУ, т | Площадь проекции светильников, м ² |
|--------------------|------------------------|----------------------|---------------------------|-------------------------|-----------|---|
| ОУ на ос-нове СД | 1 Вт | 80 Вт | 10 | 18 000 | 144 | 3 800 |
| ОУ на ос-нове НЛВД | 600 Вт | 600 Вт | 10 | 1 500 | 6,5 | 150-200 |