



Применение светодиодных светильников для освещения теплиц: реальность и перспективы

Илья Бахарев, Александр Прокофьев, Андрей Туркин, Андрей Яковлев

В статье рассматривается концепция применения светодиодов в сельском хозяйстве и обосновывается возможность её реализации для освещения растений в теплицах. Приводится описание и обсуждаются результаты эксперимента по освещению растений светодиодными светильниками в лабораторных условиях. Дается оценка экономического эффекта их применения по сравнению с традиционными источниками света на объектах сельского хозяйства.

ВВЕДЕНИЕ

Невозможно представить современное общество без повсеместного использования света. Свет создаёт нормальные условия для работы и учёбы, улучшает условия быта. Без освещения невозможна работа промышленных предприятий, транспорта. Без искусственного света не может обойтись современное городское хозяйство, нельзя выполнять строительные и сельскохозяйственные работы в тёмное время суток. Свет обеспечивает возможность космических полётов, освоения Мирового океана, проникновения в подземные шахты и пещеры. Оптическое излучение всё в большей степени используется в современных технологических процессах в промышленности и сельском хозяйстве, становится неотъемлемой частью фотохимических производств, играет всевозрастающую роль в повышении продуктивности животноводства и птицеводства, урожайности растительных культур [1].

В конце 18-го века английские и голландские учёные пришли к выводу, что растения питаются водой, воздухом, светом и в малой части почвой. Путём серии опытов они открыли явление фотосинтеза. Фотосинтез – главный процесс жизнедеятельности растений, отвечающий за их рост и развитие. Более 95% сухого вещества растений создаётся в результате этого процесса. Управление фотосинтезом – наиболее эффективный путь воздействия на

продуктивность и урожайность растений. Русский исследователь К.А. Тимирязев доказал, что источником энергии для фотосинтеза служит преимущественно длинноволновая часть спектра (красные лучи), а влияние коротковолновой части (сине-зелёной) менее существенно.

Проводились и другие исследования воздействий излучения видимой части спектрального диапазона на растения. В работе [2] исследовали влияние интенсивности и спектрального состава света на эффективность фотосинтеза и продуктивность различных растений. У растений за поглощение света отвечают специальные пигменты. Основные из них – хлорофиллы а и b и каротиноиды. Хлорофиллы поглощают свет

синего и красного диапазонов, а каротиноиды – синего диапазона. Свет, полученный разными пигментами, расходуется на разные цели: пигменты с пиком чувствительности в красной области спектра отвечают за развитие корневой системы, созревание плодов, цветение растений; пигменты с пиком поглощения в синей области отвечают за увеличение зелёной массы; зелёная часть спектра излучения полезна для фотосинтеза плотных листьев и листьев нижних ярусов, куда синие и красные лучи почти не проникают. Остальные части спектра растениями практически не используются.

В результате исследований было показано, что наиболее благоприятными для выращивания светолюбивых расте-



Современная автоматизированная теплица

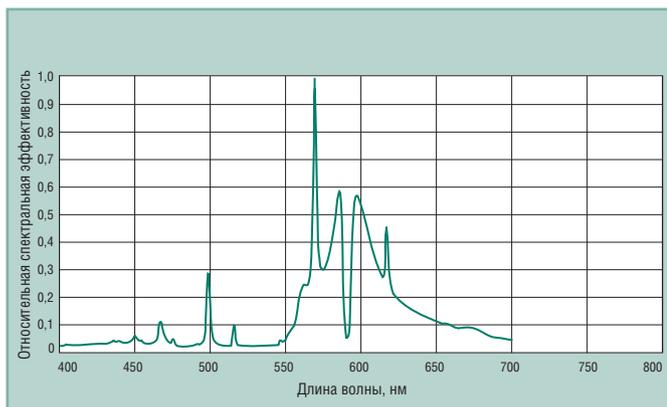


Рис. 1. Спектр аграрной натриевой лампы

ний являются интенсивности в пределах 150–220 Вт/м², а оптимальный состав излучения имеет следующее соотношение энергий по спектру: 30% – в синей области (380–490 нм), 20% – в зелёной (490–590 нм) и 50% – в красной области (600–700 нм). С использованием такого искусственного освещения получены урожаи, в несколько раз более высокие, чем при обычном освещении, причём за более короткие (в 1,5–2 раза!) сроки.

Возможность применения светодиодов в растениеводстве

Приведённые результаты указывают на возможность применения светодиодных светильников для освещения растений. Современные светодиоды перекрывают весь видимый диапазон оптического спектра: от красного до фиолетового цвета. Диапазон длин волн излучения светодиодов в красной области спектра составляет от 620 до 635 нм, в оранжевой – от 610 до 620 нм, в жёлтой – от 585 до 595 нм, в зелёной – от 520 до 535 нм, в голубой – от 465 до 475 нм и в синей – от 450 до 465 нм. Таким образом, составляя комбинации из светодиодов разных цветовых групп, можно получить источник света с практически любым спектральным составом в видимом диапазоне.

Следует отметить и другие преимущества светодиодов, например, малую потребляемую электрическую мощность и, как следствие, низкое потребление электроэнергии устройствами на основе светодиодов. Кроме того, стоит учитывать, что излучение светодиодов направленное, а это позволяет эффективнее использовать источники света на их основе. Также надо принимать во внимание, что время жизни светодиодов превышает время жизни ламп минимум в несколько раз, что делает при-

менение светодиодов крайне эффективным в экономическом плане.

Интенсивность излучения светодиода зависит от протекающего через кристалл тока. Это позволяет управлять интенсивностью излучения светодиодного светильника, причём относительно легко – путём изменения значения тока. Если использовать в светильнике светодиоды с разными значениями длины волны излучения, то, изменяя ток для разных светодиодов, можно получать различные по составу и интенсивности спектры излучения и таким образом подбирать спектр светильника в зависимости от конкретного этапа развития растения.

Здесь нельзя не сказать о том, что современные теплицы представляют собой сложные технические комплексы, в большей части роботизированные. Управление ими осуществляется при помощи автоматизированных систем, в которые достаточно органично можно добавить и управление освещением, причём как по интенсивности, так и по спектральному составу излучения, и производить такие управляющие операции по программам, учитывая фазу развития растений.

В довершение всего светодиоды, в отличие от ламп, не являются хрупкими, поэтому устройства на их основе могут быть вандалоустойчивыми, а возможность низковольтного питания делает их безопасными, то есть не являющимися потенциальными источниками возникновения пожара или взрыва [3].

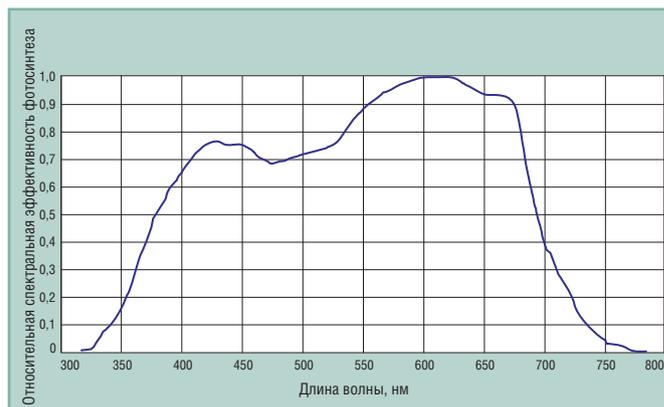


Рис. 2. Относительная спектральная эффективность фотосинтеза

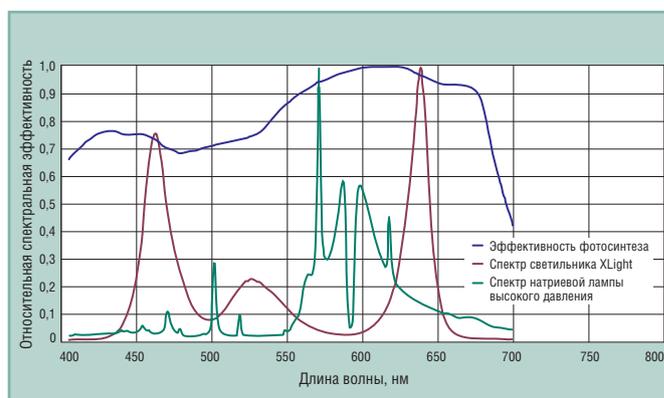


Рис. 3. График соотношения спектров эффективности фотосинтеза, натриевой лампы высокого давления и светодиодного агроосветильника XLight

Всё перечисленное делает светодиодные светильники крайне привлекательными для использования в тепличном освещении. Для того чтобы оценить их возможности, нужно сравнить параметры светодиодных источников света и ныне применяемых в тепличном хозяйстве ламп.

В настоящее время для искусственного освещения растений используются лампы особого типа, которые называются аграрными. На рис. 1 представлен спектр аграрной натриевой лампы. На рис. 2 приведена кривая относительной спектральной эффективности фотосинтеза [4]. На кривой рис. 2 чётко видны максимумы в диапазоне длин волн 400–500 нм, который соответствует синей спектральной области (левый широкий максимум), и в диапазоне 600–700 нм, который соответствует красной спектральной области (правый широкий максимум).

Эффективность источника света можно оценить по количеству люменов излучаемого светового потока, приходящихся на один ватт потребляемой источником мощности. Однако в данном случае это будет не совсем корректно. Например, глаз человека воспринимает

цвета по-разному, пик его чувствительности лежит в зелёной области спектра, таким образом, источник синего или красного света нам будет казаться более тусклым, чем источник зелёного такой же оптической мощности. Клетки растений тоже не все длины волн воспринимают одинаково, разные диапазоны излучения влияют на протекание процессов фотосинтеза по-своему. Поэтому использование светильников одной и той же мощности, но различающихся по спектральному составу, приводит к разным результатам. С учётом этого по аналогии с кривой чувствительности человеческого глаза строится усреднённая кривая эффективности фотосинтеза (рис. 2), и с помощью этой кривой оценивается эффективность использования спектра источника света.

Излучение в диапазоне волн от 400 до 700 нм оказывает наибольшее влияние на протекание фотосинтеза и называется фотосинтетически активным. Существует стандартный параметр, характеризующий «яркость» источника света для растения, — количество фотонов с длиной волны от 400 до 700 нм, излучаемых за одну секунду. Эта величина называется фотосинтетическим

фотонным потоком (Photosynthetic Photon Flux — PPF) и измеряется в микромолях фотонов в секунду, а отношение PPF к потребляемой мощности рассматривается как коэффициент эффективности источника излучения.

Помимо показателей эффективности большое значение имеет состав спектра излучения. Ранее уже приводилось оптимальное соотношение энергий по спектру: 30% — в синей области, 20% — в зелёной и 50% — в красной. Такое соотношение обеспечивает выращивание полноценных растений, а сильное нарушение его приводит к отклонениям в развитии. Например, если большая часть энергии излучения приходится на синюю область спектра, это приводит к формированию низкорослых растений с высоким фотосинтезом, но низкой продуктивностью. Сильная накачка красным, наоборот, приводит к излишнему росту вегетативных органов в ущерб генеративным.

Таким образом, два типа источников света — натриевые лампы и светодиодные светильники — надо сравнивать по следующим параметрам: эффективность использования спектра источника, соотношение PPF/Вт и состав спектра.

На рис. 3 представлены спектры натриевой лампы высокого давления, светодиодного светильника XLight и кривая эффективности фотосинтеза.

Натриевые лампы имеют высокое соотношение PPF/Вт — не менее 1,8 мкмоль/(с×Вт). Расчётное значение эффективности использования спектра источника составляет 0,92. В спектре натриевой лампы средний уровень интенсивности в синей области более чем в три раза ниже, чем уровень интенсивности в красной области, что говорит о необходимости использования более интенсивной лампы, а значит, о необходимости повышения потребляемой мощности.

Светодиодный аграрный светильник XLight был разработан с учётом требований к тепличному освещению, и его спектр максимально приближен к оптимальному. Расчётное значение PPF/Вт — 2 мкмоль/(с×Вт). Расчётное значение эффективности использования спектра источника — 0,83.

Из сравнения приведённых для двух типов источников данных можно сделать вывод, что светодиодный светильник XLight по своему спектру ближе к оптимальному для выращивания растений, характеризуется более высо-

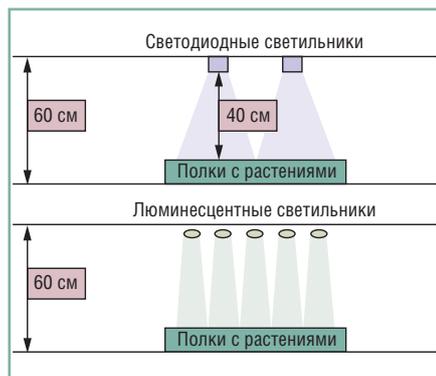


Рис. 4. Схема эксперимента по применению светодиодных светильников для выращивания растений

кой отдачей фотосинтетически активного излучения, чем натриевая лампа, и имеет сопоставимую с ней эффективность использования спектра источника. Всё это свидетельствует о возможном более эффективном применении данного типа светильников для освещения растений в процессе вегетации.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

Эксперимент по использованию светодиодных светильников для освещения растений проходит на кафедре овощеводства и плодоводства на базе



Рис. 5. Светодиодный светильник XLight XLD-Line50-Agro

Уральской государственной сельскохозяйственной академии.

Целью эксперимента является проверка способности растений развиваться под светом от полупроводниковых источников излучения (светодиодов) от стадии прорастивания до стадии плодоношения (появления завязей плодов).

Схема проведения эксперимента показана на рис. 4. На две соседние полки помещаются ёмкости, засеянные семенами растений. На обеих полках процесс выращивания растений происходит полностью под искусственным освещением. В первом случае используются светодиодные светильники XLight XLD-Line50-Agro (рис. 5), во втором случае — светильники с люми-

несцентными лампами Osram Fluora для растений. Растения находятся при включённом освещении по 16 часов в сутки. Площадь освещённого участка составляет примерно 0,5 м².

Эксперимент состоит из двух повторяющихся этапов для подтверждения правильности полученных результатов. В настоящее время завершён первый этап: растения полностью развились от стадии прорастивания из семян до стадии плодоношения в лабораторных условиях. Второй этап должен подтвердить преимущества использования светодиодных источников освещения для растений уже в реальных условиях тепличного хозяйства.

Уже сейчас эксперимент показал, что, в отличие от люминесцентных ламп, светодиодный светильник обеспечивает спектр излучения, необходимый для полного цикла выращивания растений от прорастивания до цветения и плодоношения, а спектр люминесцентных ламп не позволяет растениям плодоносить, поэтому эти лампы пригодны только для выращивания рассады. Другим преимуществом светодиодных светильников является низкое выделение тепла, поэтому их можно располагать в непосредственной близости

Таблица 1

Технико-экономический расчёт, обосновывающий применение светодиодных светильников XLight с потребляемой мощностью 166 Вт

ХАРАКТЕРИСТИКИ	ЛАМПОВЫЙ СВЕТИЛЬНИК	СВЕТОДИОДНЫЙ СВЕТИЛЬНИК
ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ, ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ И СТОИМОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАМЕНЯЕМЫХ ЛАМПОВЫХ И УСТАНОВЛИВАЕМЫХ СВЕТОДИОДНЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ		
Тип источника света в светильнике	Натриевая лампа	Светодиоды
Потребляемая мощность источника света, Вт	600	144
Потребляемая мощность светильника, Вт	648	166
Время работы в сутки, ч (в расчётах принято, что в году 365 суток)	15	
Потребляемая электроэнергия в сутки, кВт·ч	9,72	2,49
Количество ламп в светильнике	1	–
Количество светильников	192	192
Стоимость кВт·ч, руб.	3,32	
Цена осветительной арматуры, руб.	3000,00	0,00
Цена лампы, руб.	700,00	0,00
Цена светильника, руб.	3700,00	25 600,00
Цена замены лампы, руб.	150,00	0,00
Цена утилизации лампы, руб.	14,16	0,00
Цена услуг по утилизации ламп*, руб.	3200,00	0,00
Количество замен ламп за год	1	0
Гарантийный срок эксплуатации, лет	–	3
РАСЧЁТ ЭКОНОМИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ ЗАМЕНЕ ОДНОГО СВЕТИЛЬНИКА		
Потребляемая электроэнергия в год, кВт·ч	3547,80	908,85
Экономия электроэнергии в год, кВт·ч	2638,95	
РАСЧЁТ ЭКОНОМИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ ЗАМЕНЕ СВЕТИЛЬНИКОВ		
Общая потребляемая электроэнергия в год, кВт·ч	681 177,60	174 499,20
Общая экономия электроэнергии в год, кВт·ч	506 678,40	
ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЕКТА ПО ЗАМЕНЕ СВЕТИЛЬНИКОВ		
Экономия расходов на электроэнергию в год, руб.	1 682 172,29	
Эксплуатационные расходы по замене ламп в год, руб.	163 200,00	0,00
Расходы по утилизации ламп в год, руб.	5918,72	0,00
Общая экономия средств в год, руб.	1 851 291,01	
Стоимость светильников, руб.	710 400,00	4 915 200,00
Срок окупаемости вложений без учёта эксплуатационных расходов, лет	2,50	
Срок окупаемости вложений с учётом эксплуатационных расходов, лет	2,30	
Экономия в течение гарантийного срока эксплуатации без учёта эксплуатационных расходов, руб.	841 086,15	
Экономия в течение гарантийного срока эксплуатации с учётом эксплуатационных расходов, руб.	1 295 903,71	

* Цена услуг по утилизации ламп включает в себя стоимость транспортных услуг – 3000 руб. и аренды контейнера для ламп – 200 руб.

от растений без риска нанести им повреждение.

Результаты законченного первого этапа эксперимента показали, что семена, освещаемые светодиодными светильниками, прошли за время эксперимента полный цикл от проращивания до плодоношения, тогда как семена, освещаемые светильниками с люминесцентными лампами, за анало-

гичное время дошли только до стадии цветения.

ПРОЕКТ ПЕРЕОСНАЩЕНИЯ УЧАСТКА ТЕПЛИЦЫ СВЕТОДИОДНЫМИ СВЕТИЛЬНИКАМИ

Для оценки перспективности внедрения светодиодных светильников в растениеводстве был выполнен проект

переоснащения ими участка теплицы. В качестве примера типового объекта внедрения была взята теплица одного из агрокомбинатов, находящихся на юго-западе Московской области.

Для расчётов были приняты следующие исходные данные:

- высота подвеса светильников над растениями – 3 м;
- площадь – 60×12 м²;
- количество поперечных балок (места крепления светильников) – 16 шт.;
- расстояние между балками – 4 м;
- количество используемых светильников – 192 шт. (по 12 шт. на балку).

В рамках проекта предполагалось провести замену имеющихся светильников с натриевыми лампами потреблением 648 Вт на светодиодные светильники XLight потреблением 166 Вт. В светодиодном светильнике XLight нашли воплощение результаты исследований влияния различного освещения на рост растений. Спектр светильника наиболее приближен к спектру поглощения растений. Его конструкция отличается простотой и надёжностью. Модульная структура светильника позволяет использовать его для разных типов теплиц.

Пример технико-экономического расчёта для данного проекта приведён в табл. 1.

Главным преимуществом светодиодного освещения для данного проекта можно назвать подбор практически идеального для роста растений спектра излучения. Спектр расположен как в синей, так и в оранжево-красной областях. Красный свет необходим для роста корневой системы, созревания плодов, цветения, а синий – для развития листьев, роста растений [4]. У натриевой лампы основная часть спектра принадлежит оранжево-красной области и явно недостаёт синего света; из-за недостатка синего света растения тянутся вверх, становятся более хрупкими и плохо переносят транспортировку.

Также стоит отметить малое энергопотребление светодиодов: ориентировочно при идентичных светотехнических характеристиках один светодиодный светильник потребляет в три раза меньше электроэнергии по сравнению с типовым светильником с натриевой лампой. При всём этом светодиоды имеют долгий срок службы (100 000 часов), чем обеспечивается большой гарантийный срок службы светодиодного светильника (3 года) и

продолжительный срок эксплуатации (10 лет).

В отношении светодиодных светильников следует особо упомянуть их экологическую чистоту и отсутствие у них проблем с утилизацией. Данные особенности связаны с тем, что в составе светодиодов нет вредных веществ. Помимо этого при эксплуатации они не нагреваются так сильно, как лампы, что облегчает поддержание требуемых климатических условий при выращивании растений.

К недостаткам светодиодного освещения можно отнести относительно большие размеры светильников, что продиктовано стремлением добиться высокой интенсивности излучения за счёт большего количества светодиодов, и сравнительно высокую стоимость светильников на первоначальном этапе. Первый недостаток не является критичным для тепличных объектов традиционной конструкции, а второй компенсируется, как это видно из табл. 1, коротким сроком окупаемости (порядка 2,5 лет) и достаточно длинным сроком эксплуатации после этого, уже в условиях полностью возвращённых затрат на приобретение и нарастающей экономии за счёт низкого энергопотребления, характерного для светодиодных светильников.

Вне зависимости от типа применяемых источников света в тепличных осветительных системах имеет смысл использовать подсистему управления, на которую могут быть возложены несложные функции контроля состояния светильников и обеспечения режимов управления включением/выключением в зависимости от сезона, времени суток, конфигурации задействованных площадей, требуемого спектра излучения и т.п. Такие подсистемы могут быть как автономными, так и входящими в состав централизованной системы автоматизации теплицы. Как показывает анализ подобных решений, здесь преобладают автономные подсистемы, которые используют простые и очень недорогие контроллеры, как то: RTU188-BS (FASTWEL), ADAM (Advantech), WAGO I/O, LOGO! (Siemens) [5] и др. Следует подчеркнуть, что применение подсистемы управления в составе системы освещения оказывается более эффективным именно в случае использования светодиодных светильников, так как эти светильники в силу своей физической природы предоставляют большие возможности по регулирова-

нию и установке своих параметров. На базе такой подсистемы управления возможно решение вопросов подбора светильников с требуемыми спектрами и изменения этих спектров с течением времени в соответствии с протекающими биологическими процессами в ходе оптимизации режимов освещения с целью получения определённых свойств растений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время в большинстве тепличных осветительных систем используются адаптированные для растениеводства натриевые лампы высокого давления [4, 6] – так называемые аграрные натриевые лампы. Однако у этих ламп только треть затраченной энергии преобразуется в излучение, эффективное для фотосинтеза, а это означает, что вырабатывается также много лишнего тепла [6]. Согласно исследованиям института «Гипрони-сельпром», для получения оптимальной нормы освещённости в теплице для выращивания рассады, равной 40 Вт/м² [4], необходимо использовать натриевую лампу мощностью минимум 120 Вт, а для получения нормы освещённости в теплице для выращивания на продукцию, равной 100 Вт/м² [4], – лампу мощностью минимум 300 Вт. При фотопериоде выращивания рассады 14 часов и выращивания на продукцию 16 часов [4] потребление электроэнергии на 1 м² составит за сутки величину в несколько кВт·ч. В пересчёте на всю продуктивную площадь теплицы величина потребления электроэнергии лампами выливается в огромное значение, существенно влияющее на рост себестоимости продукции.

Применение светодиодных светильников может снизить эту величину, как минимум, в 3 раза. Кроме существенно меньшей потребляемой мощности, светодиоды способны обеспечить большее соответствие спектра излучения аграрного светильника спектру эффективности фотосинтеза, что позволяет снизить требуемую мощность излучения на единицу площади теплицы, а следовательно, и мощность светильника, в результате чего происходит дополнительное снижение потребления электроэнергии и, как следствие, сокращение затрат.

Описанный в статье эксперимент показал, что при освещении светодиодными светильниками семена прошли полный цикл развития, тогда как

при освещении светильниками с люминесцентными лампами они достигли лишь стадии цветения. Это открывает возможность уменьшения времени полного цикла развития растения и увеличения количества периодов плодоношения только благодаря подбору спектрального состава светодиодного освещения. Если учесть ещё и экономию электроэнергии, а также возможность управления интенсивностью и спектральным составом излучения в зависимости от фазы развития растения, что возможно при применении светодиодных светильников, то экономический эффект от внедрения таких светильников может быть очень существенным.

В пользу применения светодиодов выступают также их конструкционная прочность, надёжность, большой ресурс, экологичность.

Проведённые исследования подтверждают, что будущее освещения теплиц за светодиодными светильниками [6]. И начинать применение таких светильников целесообразно уже сегодня. ●

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Знак, 2006. – 972 с.
2. Протасова Н.Н. Светокультура как способ выявления потенциальной продуктивности растений // Физиология растений. – 1987. – Т. 34. – Вып. 4. – С. 51.
3. Гужов С., Полищук А., Туркин А. Концепция применения светильников со светодиодами совместно с традиционными источниками света // Современные технологии автоматизации. – 2008. – № 1. – С. 14–18.
4. Тихомиров А.А., Шарунич В.П., Лисовский Г.М. Светокультура растений: биологические и биотехнические основы. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2000. – 213 с.
5. Петров Д. Применение в учебном процессе современных средств разработки систем реального времени // Современные технологии автоматизации. – 2009. – № 4. – С. 80–84.
6. Марселис Л., Дюеск Т., Хеувелинк Эп. Будущее за лампами роста (реферат) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.greenhouses.ru/lamps-for-greenhouse>.

Авторы – сотрудники МГУ имени М.В. Ломоносова, компаний XLight и ПРОСОФТ
Телефон: (495) 232-2522
E-mail: info@xlight.ru