

Александр Прокофьев | Андрей Туркин | Андрей Яковлев

# Перспективы применения светодиодов в растениеводстве

Невозможно представить современное общество живущим в темноте. Свет создает нормальные условия для работы и учебы, улучшает условия быта. Без освещения невозможна работа промышленных предприятий, транспорта и современного городского хозяйства, космические полеты, освоение Мирового океана, проникновение в подземные шахты и пещеры. Оптическое излучение все 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 XVIII века английские и голландские ученые пришли к выводу, что растения питаются водой, воздухом, светом и в малой части почвой. Опытным путем они открыли явление фотосинтеза — образования органических веществ из углекислого газа и воды на свету при участии фотосинтетических пигментов. Более 95% сухого вещества растений создается 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-зеленой) менее существенно.

Изучались и другие воздействия 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 в и каротиноиды. Хлорофиллы поглощают свет синего и красного диапазонов, а каротиноиды — только синего. Свет, полученный разными пигментами, расходуется на разные цели. Пигменты с пиком чувствительности в красной области спектра отвечают за развитие корневой системы, созревание плодов, цветение. Пигменты с пиком поглощения в синей области отвечают за увеличение зеленой массы. Зеленая часть спектра излучения полезна для фотосинтеза плотных листьев и листьев нижних ярусов, куда синие и красные лучи почти не проника-

ют. Остальные части спектра растениями практически не используются.

В результате исследований было показано, что наиболее благоприятными для выращивания светолюбивых растений являются интенсивности в пределах 150–220 Вт/м<sup>2</sup>, а оптимальный состав излучения имеет следующее соотношение энергий по спектру: 30% в синей области (380–490 нм), 20% в зеленой (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, причем за более короткие (в 1,5–2 раза) сроки.

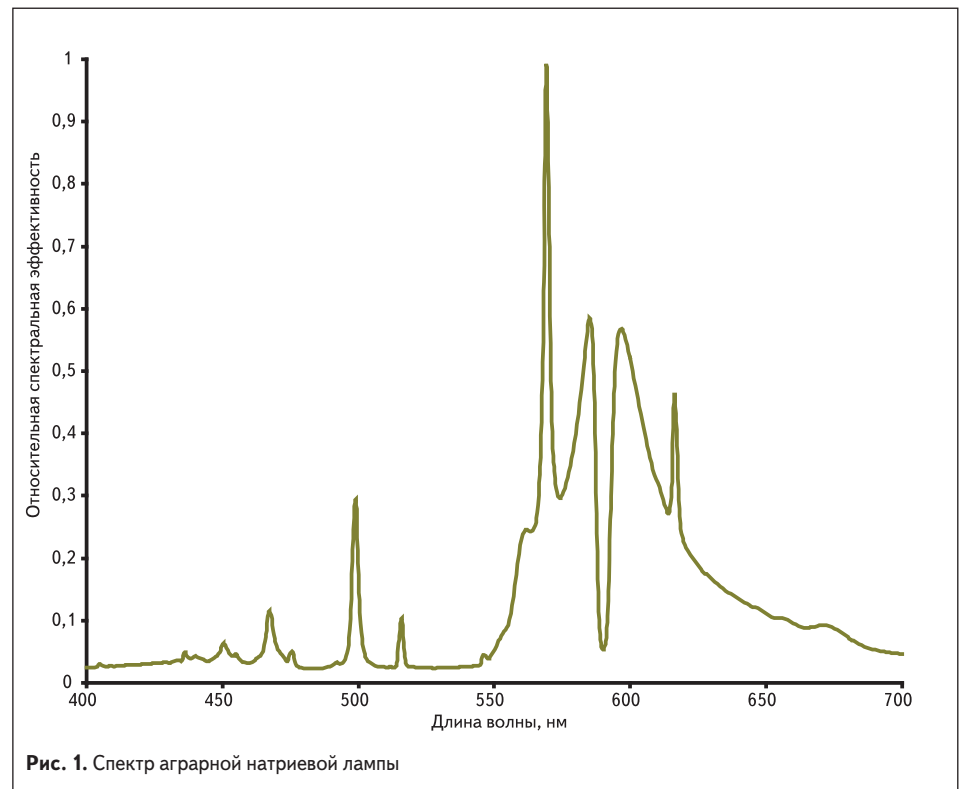
## Возможность применения светодиодов в растениеводстве

Приведенные 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 620–780 нм, в оранжевой — 600–620 нм, в желтой — 585–595 нм, в зеленой — 500–570 нм, в голубой — 465–490 нм и в синей — 430–465 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 их основе. Кроме того, стоит учитывать, что излучение светодиодов направленное, а это позволяет эффективнее использовать полупроводниковые источники света. Также надо принимать во внимание, что время жизни светодиодов превышает время жизни, например, люминесцентных ламп минимум в несколько раз.

Интенсивность излучения светодиода зависит от протекающего через кристалл тока. Это позволяет управлять интенсивностью излучения светодиодного светильника, причем относительно легко — путем изменения 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, причем как по интенсивности, так и по спектральному составу излучения, и производить такие управляющие операции по программам, учитывающим фазу развития растений.

В довершение всего светодиодные светильники, в отличие от других 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].

Все 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 четко 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 зеленой области спектра, таким образом, источник синего или красного света нам будет казаться более тусклым, чем источник зеленого такой же мощности излучения. 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 излучения, но различающихся по спектральному составу, приводит к разным результатам. С учетом этого по аналогии с кривой чувствительности человеческого глаза строится усредненная кривая эффективности фотосинтеза (рис. 2), и с помощью этой кривой оценивается эффективность использования спектра источника света.

Излучение в диапазоне волн 400–700 нм оказывает наибольшее влияние на протекание

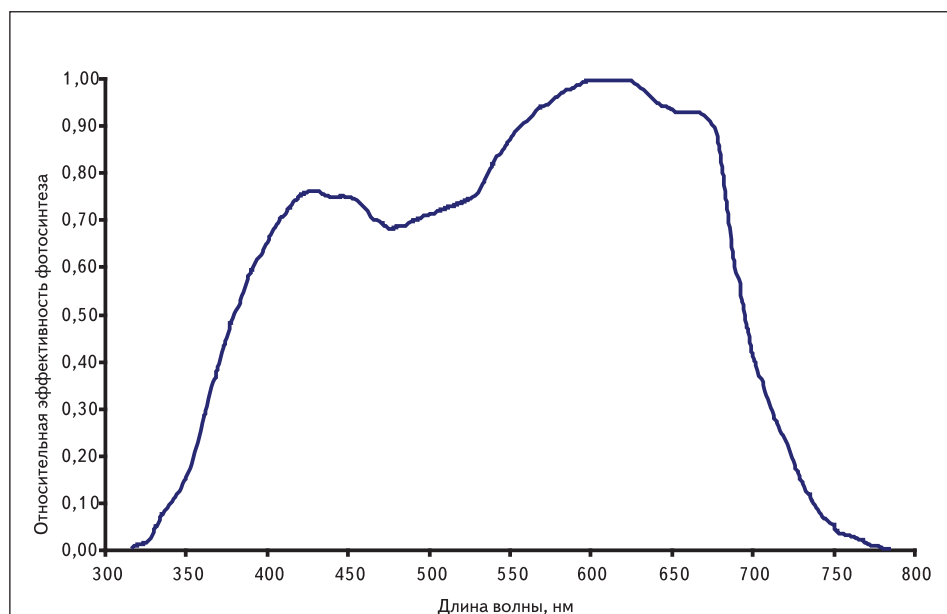


Рис. 2. Относительная спектральная эффективность фотосинтеза

фотосинтеза и называется «фотосинтетически активным». Существует стандартный параметр, характеризующий «яркость» источника света для растения, — количество фотонов с длиной волны 400–700 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 излучения.

Помимо показателей эффективности, большое значение имеет состав спектра излучения. Ранее уже приводилось оптимальное соотношение энергий по спектру: 30% — в синей области, 20% — в зеленой 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 формирова-

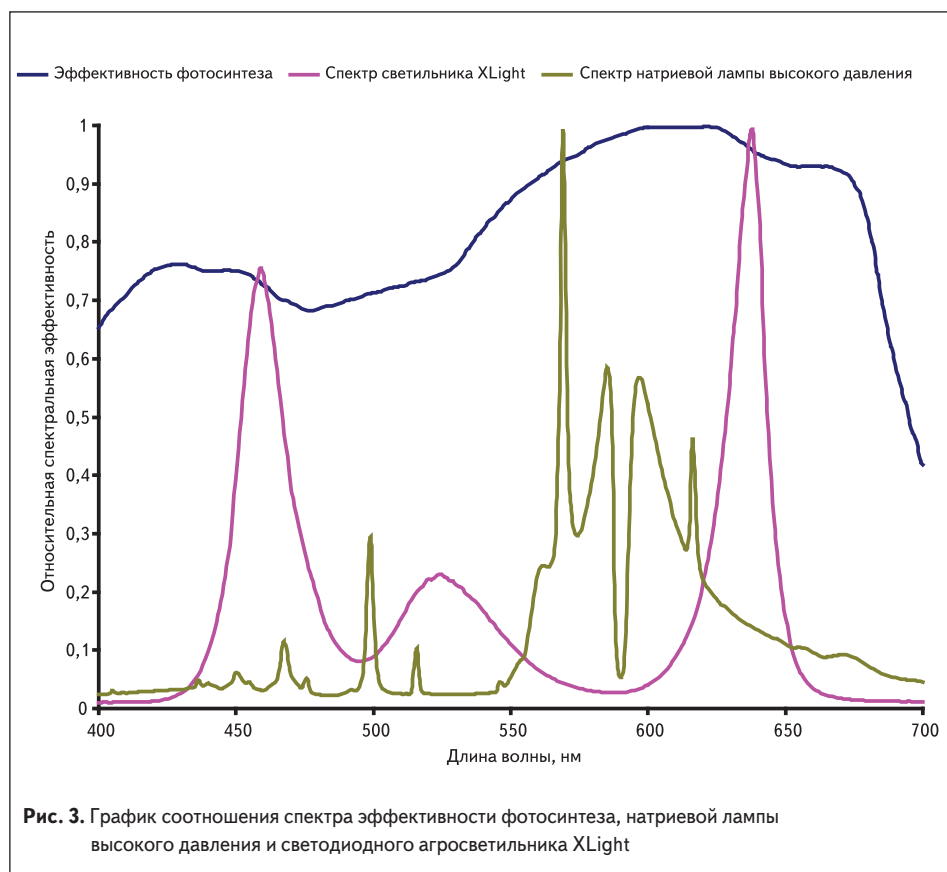


Рис. 3. График соотношения спектра эффективности фотосинтеза, натриевой лампы высокого давления и светодиодного агросветильника XLight

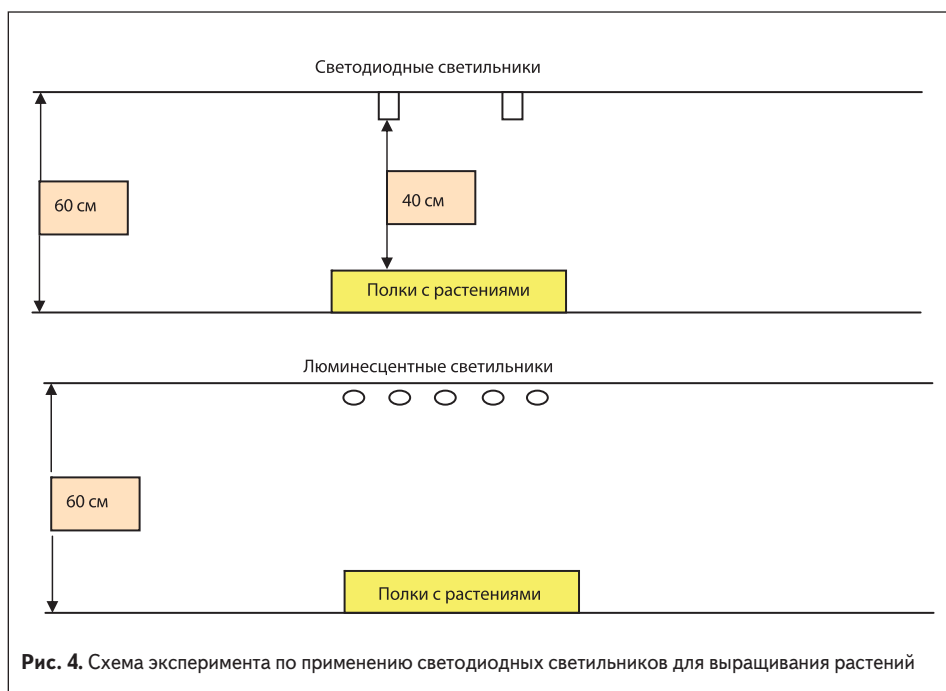


Рис. 4. Схема эксперимента по применению светодиодных светильников для выращивания растений

нию 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). Расчетное 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 учетом требований к тепличному освещению, и его спектр максимально приближен к оптимальному. Расчетное значение PPF/Вт — 2 мкмоль/(с×Вт). Расчетное значение эффективности использования спектра источника — 0,83.

Из сравнения приведенных для двух типов источников данных можно сделать вывод, что светодиодный светильник XLight по своему спектру ближе к оптимальному для выращивания растений, характеризуется более высокой отдачей фотосинтетически активного излучения, чем натриевая лампа, и имеет сопоставимую с ней эффективность использования спектра источника. Все 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 плодородства на базе 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 емкости, 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 люминесцентными лампами Osram Fluora для растений. Растения находятся при включенном освещении по 16 часов в сутки. Площадь освещенного участка составляет примерно 0,5 м<sup>2</sup>.

Эксперимент состоит из двух повторяющихся этапов для подтверждения правильности полученных результатов. В настоящее время завершён первый этап: растения полно-



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

стью 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 от растений без риска нанести им повреждения.

Результаты законченного первого этапа эксперимента показали, что семена, освещаемые светодиодными светильниками, прошли за время эксперимента полный цикл от прорастивания до плодоношения, тогда как семена, освещаемые светильниками с люминесцентными лампами, за аналогичное время дошли только до стадии цветения.

## Использование светодиодных светильников в теплицах

Главное преимущество применения светодиодных светильников для освещения растений в теплицах — возможность подбора практически идеального для их роста спектра излучения. Спектр расположен как в синей, так и в оранжево-красной областях. Как уже говорилось, красный свет необходим для роста корневой системы, созревания плодов, цветения, а синий — для развития листьев и роста растений [4]. У натриевой лампы основная часть спектра лежит в оранжево-красной области и явно недостатка синего света; из-за этого растения тянутся вверх, становятся более хрупкими и плохо переносят транспортировку.

Не последнюю роль играет и тот факт, что при практически идентичных светотехнических характеристиках один светодиодный светильник потребляет в три раза меньше электроэнергии по сравнению с натриевой лампой. Кроме того, светодиоды долговечны: они имеют ресурс порядка 50000 ч, обеспечивающий трехлетнюю гарантию работы светильника на их основе и срок эксплуатации до 10 лет.

Особо следует отметить экологическую чистоту светодиодных светильников и отсутствие проблем с их 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 светодиодных светильников можно отнести их относительно большие размеры, что продиктовано стремлением добиться высокой интенсивности излучения за счет большего количества светодиодов, и срав-

нительно высокую стоимость светильников на первоначальном этапе.

Для оценки перспективности внедрения светодиодных светильников в растениеводстве был выполнен проект переоснащения ими участка теплицы [5]. Предполагалось провести замену имеющихся светильников с лампами ДНаТ 600 Вт на светодиодные светильники XLight с потребляемой мощностью 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 надежностью. Выполненный технико-экономический расчет проекта [5] показывает, что высокая первоначальная стоимость светильников компенсируется относительно небольшим сроком окупаемости, который в нашем случае составляет порядка 2,5 года, и достаточно большим сроком эксплуатации после этого, уже в условиях полностью возмещенных затрат на приобретение и нарастающей экономии за счет низкого энергопотребления. Такой недостаток, как размеры светодиодного светильника, не является существенным при применении в современных автоматизированных теплицах.

Как уже упоминалось, в осветительных системах таких теплиц можно использовать подсистему управления с несложными функциями контроля состояния светильников, обеспечения режимов управления включением и выключением в зависимости от сезона, времени суток, конфигурации задействованных площадей, требуемого спектра излучения и т. п. [5]. Такие подсистемы могут быть как автономными, так и входящими в состав централизованной системы автоматизации теплицы [5]. На базе такой подсистемы управления возможно решение вопросов подбора светильников с требуемыми спектрами и изменения их суммарных спектров с течением времени, а также регулирования мощности излучения в соответствии с протекающими биологическими процессами с целью получения определенных 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 также вырабатывается много лишнего тепла [6]. Согласно исследованиям института «Гипронисельпром», для получения оптимальной нормы освещенности 40 Вт/м<sup>2</sup> в теплице для выращивания рассады [4, 5] необходимо использовать натриевую лампу мощностью минимум 120 Вт, а для получения нормы освещенности в 100 Вт/м<sup>2</sup> — 300 Вт. При фотопериоде выращивания рассады 14 ч и выращивания на продукцию 16 ч [4, 5] по-

требление электроэнергии на 1 м<sup>2</sup> составит за сутки величину в несколько кВт·ч. В пересчете 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 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 еще 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 [5]. В пользу применения светодиодов выступают также их конструкционная прочность, надежность, большой ресурс, экологичность [5].

Проведенные исследования подтверждают, что будущее освещения теплиц за светодиодными светильниками [5, 6], а начинать использовать такие светильники можно уже в настоящий момент. ●

## Литература

1. Справочная книга по светотехнике. М.: Знак. 2006.
2. Протасова Н. Н. Светокультура как способ выявления потенциальной продуктивности растений. Физиология растений. Т. 34. Вып. 4. 1987.
3. Гужов С., Полищук А., Туркин А. Концепция применения светильников со светодиодами совместно с традиционными источниками света // СТА. 2008. № 1.
4. Тихомиров А. А., Шарупич В. П., Лисовский Г. М. Светокультура растений в теплицах. Новосибирск. Издательство СО РАН. 2000.
5. Бахарев И., Прокофьев А., Туркин А., Яковлев А. Применение светодиодных светильников для освещения теплиц: реальность и перспективы // СТА. 2010. № 2.
6. Марселис Л., Дюск Т., Хеувелинк Э. Будущее за лампами роста. Реферат. <http://greenhouses.ru/lamps-for-greenhouse>.