

УДК 635.628.932

05.00.00 Технические науки

**СВЕТОДИОДНАЯ ЛАМПА ДЛЯ
ОБЛУЧЕНИЯ ТЕПЛИЧНЫХ РАСТЕНИЙ**

Молчанов Анатолий Георгиевич
кандидат технических наук, доцент кафедры
применение электроэнергии в сельском хозяйстве
SPIN-код: 8511-8699, AuthorID: 619979
Тел.: 8(8652) 71-79-38
E-mail: molchanov_41@mail.ru

Авдеева Валентина Николаевна
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
кафедры применение электроэнергии в сельском
хозяйстве
SPIN-код: 8614-9646, AuthorID: 620008
Тел.: 8(8652) 71-79-38
E-mail: Avdeeva_VN@mail.ru

Безгина Юлия Александровна
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
кафедры химии и защиты растений
SPIN-код: 1535-9636, AuthorID: 271312
Тел.: 8(8652) 35-59-66
E-mail: Juliya.bezgina@mail.ru
*ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный
аграрный университет». г. Ставрополь, Россия*

В настоящее время большое внимание уделяется производству отечественной овощной продукции. Одним из основных резервов повышения урожайности овощей является производство продукции в защищенном грунте. Интенсивное строительство новых теплиц и тепличных комплексов резко увеличило спрос на инженерные средства, с помощью которых создается искусственный микроклимат в сооружениях защищенного грунта. Для создания высоких облученностей требуется весьма значительная удельная установленная мощность источников фотосинтезного излучения. В настоящее время передовые тепличные комбинаты используют светодиодное облучение. Опыт этих хозяйств показал, что светодиодные облучатели имеют ряд значимых преимуществ перед газоразрядными лампами: существенно меньшую удельную мощность облучательной установки; срок службы светодиодов выше в несколько раз; они не содержат токсичных веществ (ртуть); светодиоды питаются от сети низкого напряжения, что существенно с точки зрения техники безопасности. Изоляция тепличных растений от воздействия естественных факторов внешней среды приводит к нежелательным последствиям. Дефицит количества естественной энергии оптического излучения, проникающего в сооружения защищенного грунта, в современных

UDC 635.628.932

Technical sciences

**LED LAMPS FOR IRRADIATION OF
GLASSHOUSE PLANTS**

Molchanov Anatoly Georgievich
Candidate of Technical Sciences, associate Professor
of the Department of application of electricity in
agriculture, SPIN-code: 8511-8699, AuthorID:
619979, Tel.: 8(8652) 71-79-38
E-mail: molchanov_41@mail.ru

Avdeeva Valentina Nikolaevna
Candidate of Technical Sciences, associate Professor
of the Department of application of electricity in
agriculture, SPIN-code: 8614-9646,
AuthorID: 620008
Tel.: 8(8652) 71-79-38
E-mail: Avdeeva_VN@mail.ru

Bezgina Yuliya Aleksandrovna
Candidate of Technical Sciences, associate Professor
of the Department of application of electricity in
agriculture, SPIN-code: 1535-9636, AuthorID:
271312, Tel.: 8(8652) 35-59-66
E-mail: Juliya.bezgina@mail.ru
*FSBEI HE "Stavropol State Agrarian University"
Stavropol, Russia*

At present, much attention is paid to the production of domestic vegetable products. One of the main reserves of increasing the yield of vegetables is the production of products in sheltered ground. The intensive construction of new glasshouses and greenhouses complexes has sharply increased the demand for engineering facilities, with the help of which an artificial microclimate is created in the structures of the protected soil. To create high irradiations, a very significant specific installed power of photosynthetic radiation sources is required. Currently, advanced greenhouse plants use LED irradiation. The experience of these farms showed that LED irradiators have a number of significant advantages over discharge lamps: a significantly lower specific power of the irradiator; the service life of LEDs is several times higher; they do not contain toxic substances (mercury); LEDs are powered from a low voltage network, which is significant from a safety standpoint. Isolation of greenhouse plants from the effects of natural factors of the environment leads to undesirable consequences. The deficit of the amount of natural energy of optical radiation penetrating the structures of protected ground in modern industrial greenhouses during off-season is eliminated by additional artificial radiation from greenhouse lamps. In this case, the emission spectrum of lamps differs significantly from the natural one. This is especially true for ultraviolet radiation. The

промышленных теплицах во внесезонное время ликвидируется за счет дополнительного искусственного излучения тепличных ламп. При этом спектр излучения ламп значительно отличается от естественного. Особенно это относится к ультрафиолетовому излучению. Рассматривается вопрос создания светодиодной лампы для применения ее в сооружениях защищенного грунта. Приводятся основные требования к созданию фотосинтезной лампы по спектральному составу излучения. Обосновывается необходимость длинноволновой ультрафиолетовой составляющей в спектре излучения лампы

Ключевые слова: ОВОЩЕВОДСТВО ЗАЩИЩЕННОГО ГРУНТА, ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИ АКТИВНАЯ РАДИАЦИЯ, СВЕТОДИОДЫ, СВЕТОДИОДНАЯ ЛАМПА

Doi: 10.21515/1990-4665-134-022

issue of creating an LED lamp for its application in structures of protected ground is considered. The main requirements for the creation of a photosynthetic lamp on the spectral composition of radiation are given. The necessity of a long-wave ultraviolet component in the emission spectrum of a lamp is substantiated

Keywords: VEGETABLE GROWING IN PROTECTED GROUND, PHOTOSYNTHETIC ACTIVE RADIATION, LEDS, LED LAMP

Антироссийские санкции и ответное продуктовое эмбарго привели к возникновению мощной кампании в РФ по импортозамещению продукции сельскохозяйственного производства, в том числе и овощеводства защищенного грунта [1]. Интенсивное строительство новых теплиц и тепличных комплексов резко увеличило спрос на инженерные средства, с помощью которых создается искусственный микроклимат в сооружениях защищенного грунта [2]. Важным фактором внешней среды обитания тепличных растений является искусственное оптическое облучение их определенным спектральным составом излучения, с достаточным уровнем облученности и интегралом дневного облучения, необходимых для нормального роста, формирования, цветения и плодоношения [3]. Уровень облученности в теплицах в десятки раз превышает нормированные значения освещенности в иных типах производственных помещений. Для создания столь высоких облученностей требуется весьма значительная удельная установленная мощность источников фотосинтезного излучения. Поэтому выбор для практических целей наиболее экономичных

современных растениеводческих источников излучения является актуальной задачей [4].

Эффективное использование энергии искусственного оптического излучения возможно лишь при наличии информации о требовании растений к спектральному составу излучения [5]. Современная ботаническая литература делит оптическое излучение на восемь зон с определенными длинами волн, в соответствии с их влиянием на физиологические процессы в растении:

- I. Более 1000нм – тепловое действие;
- II. 1000...700нм – эффект вытягивание стебля;
- III. 700...610нм – зона наибольшей интенсивности фотосинтеза, синтеза хлорофилла;
- IV. 610...510нм – зона наименьшей интенсивности фотосинтеза;
- V. 510...380нм – второй пик интенсивности фотосинтеза, зона наибольшего поглощения излучения хлорофиллами А и Б, каротиноидами, значительный формативный эффект;
- VI. 380...315нм (УФ - излучение области А) - в основном формативный эффект;
- VII. 315...280нм (УФ - излучение области В) - зона вредного влияния оптического излучения для большинства растений;
- VIII. Короче 280нм (УФ - излучение области С) – зона губительного действия излучения на растения.

Зону оптического излучения от 400 до 700нм называют фотосинтетически активной радиацией ФАР (PAR). Существует стандартный параметр, характеризующий эффективность источника оптического излучения для растения – количество фотонов с длиной волны от 400 до 700нм, излучаемых за одну секунду. Эта величина называется фотосинтетическим фотонным потоком (Photosynthetic Photon Flux – PPF) и измеряется в микромолях фотонов в секунду (мкмоль/с), а отношение

PPF к потребляемой мощности источника излучения (PPF/Вт) рассматривается как коэффициент эффективности излучения. Существует еще один параметр, характеризующий источник оптического излучения, который, как правило, декларирует производитель ламп, это – удельная плотность потока фотонов за секунду – Photosynthetic Photon Flux Dencity (PPFD), измеряется эта величина в $\mu\text{моль}/\text{с}/\text{м}^2$ [6].

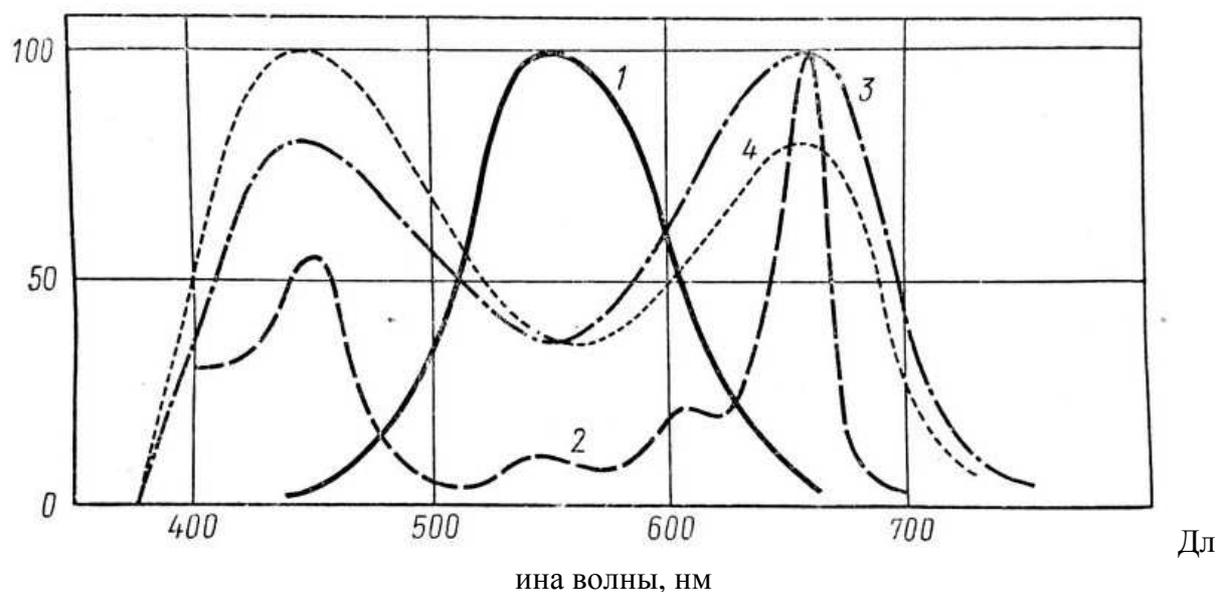


Рисунок – Спектральные кривые: 1 – чувствительности глаза человека; 2 – синтеза хлорофилла; 3 – фотосинтеза; 4 – поглощения оптического излучения листом

На рисунке приведена кривая чувствительности сетчатки глаза среднестатистического человека. Видно, что спектральные чувствительности глаза и растения (спектр поглощения листа, спектр действия фотосинтеза и др.) являются в определенной степени антиподами, то есть, то, что видит глаз (наибольшее поглощение излучения в желто-зеленой зоне) практически не усваивается растением (минимум чувствительности в желто-зеленой зоне). Это значит, что максимумы спектров излучения фотосинтезных ламп и ламп, используемых для освещения, должны быть принципиально разными.

Однако, здесь не все так однозначно. Натриевые лампы высокого давления типа ДНаТ сейчас пользуются наибольшей популярностью из всех источников, присутствующих на рынке, для целей освещения (особенно в наружных осветительных установках). Это и понятно, потому что максимум спектра излучения этих ламп лежит в желто-зеленой зоне и, поэтому, световая отдача таких ламп составляет 120лм/Вт и выше. Как не парадоксально, но эти же лампы очень широко и с большим экономическим успехом используются в тепличных хозяйствах. Пока объяснение этому феномену физиологи-растениеводы не дают. Другой не менее интересный факт на эту же тему приведен в литературе [7], где рассказывается об очень хороших результатах по использованию ламп накаливания для облучения растений в искусственных условиях. Напрашивается вывод, что растение – высоко адаптивный организм, способный самостоятельно преобразовывать энергию оптического излучения различных длин электромагнитных волн в энергию, необходимую для успешной его жизнедеятельности.

В настоящее время передовые тепличные комбинаты используют светодиодное облучение. Опыт этих хозяйств показал, что светодиодные облучатели имеют ряд значимых преимуществ перед газоразрядными лампами: существенно меньшую удельную мощность облучательной установки; срок службы светодиодов выше в несколько раз; они не содержат токсичных веществ (ртуть); светодиоды питаются от сети низкого напряжения, что существенно с точки зрения техники безопасности.

Из рисунка видно, что наибольшее (около 50%) поглощение энергии в области ФАР приходится на красный спектр, значительно меньше (около 20%) энергии поглощается растением в зеленой области, синей спектр поглощения составляет примерно 30% от всей усвоенной энергии. Такое процентное соотношение цветов считается наиболее оптимальным при

выборе спектра излучения растениеводческой лампы. При значительном отклонении от этого оптимума снижается энергоэффективность процесса дополнительного искусственного облучения тепличных растений.

С учетом современных требований к продукции защищенного грунта все большее значение приобретает оценка растений не только по урожайности, но и по пищевому качеству биомассы. Именно этот показатель, характеризующий уровень накопления в биомассе ценных в пищевом отношении соединений и минимальное содержание нежелательных для человека элементов, должен быть одним из основных при определении конкурентоспособности продукции [8].

Повышение накопления в биомассе ценных в пищевом отношении соединений при снижении вредных веществ (например, нитратов) представляется возможным с использованием регуляторного действия излучения УФ - области на тепличные культуры.

Изоляция тепличных растений от воздействия естественных факторов внешней среды приводит к нежелательным последствиям. Дефицит количества естественной энергии оптического излучения, проникающего в сооружения защищенного грунта, в современных промышленных теплицах во внесезонное время ликвидируется за счет дополнительного искусственного излучения тепличных ламп. При этом спектр излучения ламп значительно отличается от естественного. Особенно это относится к ультрафиолетовому излучению. В осенне-зимний период приток естественного УФ - излучения на порядок меньше такового в летние месяцы. А если принять во внимание, что кровля теплиц еще в большей степени усугубляет эту ситуацию, то становится очевидным, что в теплице практически полностью отсутствует УФ - излучение.

С целью изучения влияния дополнительного к ФАР УФ – облучения на хозяйственно-полезный урожай и пищевое качество биомассы растений

в ИФР РАН были проведены эксперименты [9]. Дополнительная УФ - составляющая в спектре оптического излучения благоприятно отразилась на накоплении полезной биомассы и значительном улучшении пищевой ценности у исследуемых культур. Содержание витамина С увеличивалось с ростом уровня УФ - облученности во всем исследуемом диапазоне; максимальный прирост, по сравнению с контролем, составил примерно 30%. Концентрация в биомассе нитратов снизилась в несколько раз.

Выше приведенные требования легли в основу выбора характеристик светодиодной лампы с определенной УФ-компонентой в спектре излучения.

Для создания УФ - составляющей излучения лампы в настоящей работе используются ультрафиолетовые светодиоды компании Sensor Electronic Technology Inc следующих типов: UVTOP 270TO18BL мощностью 1Вт с длиной волны излучения в диапазоне $\Delta\lambda = 340-355\text{нм}$; NC4U-133A, SMDUV мощностью 3Вт с $\Delta\lambda = 360-370\text{нм}$. Производитель светодиодов фирма Nichia Corporation поставляет на рынок светодиоды типа NCSU-033B, SMDUV мощностью три ватта с излучением в диапазоне $\Delta\lambda = 375-385\text{нм}$.

Излучение в диапазоне ФАР создаётся светодиодами типа XP-Ec длиной волны излучения в диапазоне $\Delta\lambda = 650-660\text{нм}$, также типа XP-E2 ($\Delta\lambda = 620-630\text{нм}$ и $\Delta\lambda = 600-610\text{нм}$). Светодиоды типа XT-E и XT-E2, которые производит компания Gree, создают синий цвет в диапазоне $\Delta\lambda = 440-450\text{нм}$ [10].

В результате обзора литературных источников, рекламных материалов, проведенных экспериментов, было принято решение по поводу количества и цвета излучения светодиодов светодиодной лампы.

Светодиодная лампа содержит семь светодиодных кластеров. Всего 144 светодиода с мощностью 1Вт и 3Вт следующих спектров:

- 1 кластер - 72 красных светодиода, спектр излучения $\Delta\lambda = 650-660\text{нм}$;
- 2 кластер - 12 красных светодиодов, спектр излучения $\Delta\lambda = 620-630\text{нм}$;
- 3 кластер - 12 оранжевых светодиодов, спектр излучения $\Delta\lambda = 600-610\text{нм}$;
- 4 кластер - 24 синих светодиодов, спектр излучения $\Delta\lambda = 440-450\text{нм}$;
- 5 кластер - 12 УФ светодиода, спектр излучения $\Delta\lambda = 375-385\text{нм}$;
- 6 кластер - 6 УФ светодиода, спектр излучения $\Delta\lambda = 360-370\text{нм}$;
- 7 кластер - 6 УФ светодиода, спектр излучения $\Delta\lambda = 340-355\text{нм}$.

Светодиоды расположены в шесть рядов по 24 штуки в каждом ряду:

- в первом, втором и шестом рядах расположены красные светодиоды со спектром излучения $\Delta\lambda = 650-660\text{нм}$;
- средний третий ряд занят 24 ультрафиолетовыми светодиодами, 12 из которых имеют спектр излучения $\Delta\lambda = 375-385\text{нм}$, шесть - $\Delta\lambda = 360-370\text{нм}$ и еще шесть со спектром $\Delta\lambda = 340-355\text{нм}$;
- четвертый ряд укомплектован 24 синими светодиодами, имеющими спектр излучения в диапазоне $\Delta\lambda = 440-450\text{нм}$;
- пятый составлен из 12 оранжевых 12 красных светодиодов со спектром излучения ($\Delta\lambda = 600-610\text{нм}$ и $\Delta\lambda = 620-630\text{нм}$).

Мощность, потребляемая лампой и драйвером, составила 152Вт.

Таким образом, использование светодиодных ламп снизит потребление электрической энергии на нужды облучения растений как минимум в два раза.

Кроме того, светодиодные лампы прочны в конструктивном отношении, надежны в эксплуатации, имеют большой срок службы, экологичны.

Список литературы:

1. Молчанов, А.Г. Энергосберегающее оптическое облучение промышленных теплиц / А.Г. Молчанов, В.В. Самойленко. – Ставрополь, 2013.
2. Минаев, И.Г. Энергосберегающая система управления источниками оптического излучения в теплицах / И.Г. Минаев, А.Г. Молчанов, В.В. Самойленко / Методы и технические средства повышения эффективности использования электрооборудования в промышленности и сельском хозяйстве : 74 научно-практич. конф. электроэнергетического факультета СтГАУ. – Ставрополь, 2010. – С. 238-240.
3. Стратегии региональной экономико-экологической безопасности / Ю.А. Безгина [и др.] // Вестник АПК Ставрополя. – 2016. – №3 (23). – С. 240-243.
4. Авдеева, В.Н. К вопросу об энергосбережении и повышении энергоэффективности предприятий / В.Н. Авдеева, А.Г. Молчанов / Современная наука: от теории к практике : сборник ст. по матер. Всеросс. (с междунар. уч.) научно-практ. конф. – Москва, 2017. – с. 199-202.
5. Авдеева, В.Н. Приоритетные направления энергосбережения / В.Н. Авдеева, Ю.А. Безгина / Повышение надежности и энергоэффективности электротехнических систем и комплексов : Межвуз. сб. науч. тр. (с международным участием). – Уфа, 2016. – С. 482-485.
6. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Фотосинтетически активная радиация](https://ru.wikipedia.org/wiki/Фотосинтетически_активная_радиация).
7. Мошков, Б.С. Выращивание растений при искусственном освещении / Б.С. Мошков. – Л.-М., 1966.
8. Хорольский, В.Я. Снижение потерь электрической энергии в электроустановках производственных помещений сельскохозяйственных организаций / В.Я. Хорольский, А.В. Ефанов, И.В. Атанов. – Ставрополь, 2015. – 104 с.
9. Ультрафиолетовая радиация солнца и неба / В.М. Белинский [и др.]. : М.: изд. МГУ, 1968.
10. Светодиодное освещение для растениеводства / Я. Эшдаун, Рентюк // Полупроводниковая светотехника. – 2015. – №4 (36). – С. 26-31

References

1. Molchanov. A.G. Energoberegayushcheye opticheskoye oblucheniye promyshlennykh teplits / A.G. Molchanov. V.V. Samoylenko. – Stavropol. 2013.
2. Minayev. I.G. Energoberegayushchaya sistema upravleniya istochnikami opticheskogo izlucheniya v teplitsakh / I.G. Minayev. A.G. Molchanov. V.V. Samoylenko / Metody i tekhnicheskiye sredstva povysheniya effektivnosti ispolzovaniya elektrooborudovaniya v promyshlennosti i selskom khozyaystve : 74 nauchno-praktich. konf. elektroenergeticheskogo fakulteta StGAU. – Stavropol. 2010. – S. 238-240.
3. Strategii regionalnoy ekonomiko-ekologicheskoy bezopasnosti / Yu.A. Bezgina [i dr.] // Vestnik APK Stavropolia. – 2016. – №3 (23). – S. 240-243.
4. Avdeyeva. V.N. K voprosu ob energosberezhenii i povyshenii energoeffektivnosti predpriyatiy / V.N. Avdeyeva. A.G. Molchanov / Sovremennaya nauka: ot teorii k praktike : sbornik st. po mater. Vseross. (s mezhdunar. uch.) nauchno-prakt. konf. – Moskva. 2017. – s. 199-202.

5. Avdeyeva. V.N. Prioritetnyye napravleniya energosberezheniya / V.N. Avdeyeva. Yu.A. Bezgina / Povysheniye nadezhnosti i energoeffektivnosti elektrotekhnicheskikh sistem i kompleksov : Mezhvuz. sb. nauch. tr. (s mezhdunarodnym uchastiyem). – Ufa. 2016. – S. 482-485.
6. [https://ru.wikipedia.org/wiki / Fotosinteticheski aktivnaya radiatsiya](https://ru.wikipedia.org/wiki/Fotosinteticheski_aktivnaya_radiatsiya).
7. Moshkov. B.S. Vyrashchivaniye rasteniy pri iskusstvennom osveshchenii / B.S. Moshkov. – L.-M.. 1966.
8. Khorolskiy. V.Ya. Snizheniye poter elektricheskoy energii v elektroustanovkakh proizvodstvennykh pomeshcheniy sel'skokhozyaystvennykh organizatsiy / V.Ya. Khorolskiy. A.V. Efanov. I.V. Atanov. – Stavropol. 2015. – 104 s.
9. Ultrafioletovaya radiatsiya solntsa i neba / V.M. Belinskiy [i dr.]. : M.: izd. MGU. 1968.
10. Svetodiodnoye osveshcheniye dlya rasteniyevodstva / Ya. Eshdaun. Rentyuk // Poluprovodnikovaya svetotekhnika. – 2015. – №4 (36). – S. 26-31.