

ТЕХНОЛОГИИ, СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ



УДК 621.385: 631.234

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ СИСТЕМА ОБЛУЧЕНИЯ В ТЕПЛИЦЕ

© 2016 г. *Г.В. Степанчук, И.В. Юдаев, А.В. Жарков*

Снижение энергозатрат в тепличном овощеводстве сегодня является одним из ключевых моментов более интенсивного развития отрасли и увеличения производства продукции. Существенную составляющую этих затрат определяет количество потребленной электрической энергии для организации операции по досвечиванию тепличных растений или даже выращиванию их в условиях только искусственного освещения. При этом следует отметить, что рассада и взрослые растения очень чувствительны к тому, каким светом их облучают и каков спектр падающей на них световой волны. Решить эти задачи позволяет применение в тепличном овощеводстве технологии светокультуры растений с использованием светодиодных источников света. Целью работы была поставлена необходимость обосновать конкретное техническое решение для энергоэффективной системы облучения тепличных растений с использованием светодиодных источников света и регулируемым спектром. Для облучения рассады и взрослых растений была разработана, запатентована и исследована регулируемая светодиодная система с генератором синусоидальных колебаний на базе комплементарной пары полевых транзисторов, соединенных по схеме аналога лямбда-диода. Использование такой системы дает возможность для светодиодных ламп получить практически любой спектр, необходимый для облучения конкретных видов выращиваемых растений и для любой стадии их физиологического развития. Разработанная система облучения рассады и растений в теплице обеспечивает необходимый спектр излучения, позволяя сократить потребление электроэнергии до 50% и повысить производительность выращивания рассады на 20%.

Ключевые слова: теплица, облучение растений, светодиодные источники света, регулятор освещённости, аналог лямбда-диода.

Reduction of the energy consumption in greenhouse vegetable growing today is one of the key elements of more intensive industry development and production increase. A significant component of these costs is determined by the amount of consumed electric energy for the operations organization on supplementary lighting of greenhouse plants or even growing them under artificial lighting only. It should be noted that the seedlings and mature plants are very sensitive to how they are irradiated with light and what the wave range of the incident light to them. To solve these problems it is possible by application in greenhouse horticulture plants of lightening culture technology using LED light sources. The purpose of the work was set to justify the need for specific technical solutions for energy-efficient systems of greenhouse plants irradiation using a LED light source and adjustable range. For the irradiation of seedlings and mature plants there was developed, patented and studied adjustable LED system with a generator of sinusoidal oscillations on the basis of a complementary pair of field effect transistors connected in lambda-diode analog circuit. Using such a system makes it possible for the LED lamps to obtain virtually any irradiation spectrum needed for specific types of grown plants at any stage of their physiological development. The designed system of seedlings and plants irradiation in a greenhouse provides the necessary light spectrum, allowing to reduce electricity consumption by up to 50% and increase of seedlings breeding productivity at 20%.

Keywords: greenhouse, plant irradiation, LED light sources, lighting controller, lambda-diode analogue.

Введение. Теплицы, функционирующие круглогодично, представляют собой сложные, дорогостоящие и энергоёмкие технические объекты с разветвленной инфраструктурой электро-, тепло- и водоснабжения, а также канализации. Чтобы вырастить в такой теплице килограмм овощей в средней полосе России расходу-

ется до 200 МДж тепловой и 2,3 кВт·ч электрической энергии.

Снизить энергоемкость производства продукции овощеводства защищенного грунта можно за счет осуществления целого ряда мероприятий, к которым, в первую очередь, относят: модернизацию внутри-тепличного энергетического комплекса, используя для этого современное оборудование; внедрение энергосберегающих технологий; применение новых, современных материалов для реконструкции и строительства тепличных конструкций и др. Учитывая тот факт, что сегодня большинство тепличных комбинатов в России не имеют возможности кардинально переоружить существующие производства в соответствии с современными разработками в области энергосбережения, можно констатировать, что только экономия энергоресурсов по всем направлениям и режимам технологических процессов позволит им оставаться конкурентоспособными участниками рынка.

За последние годы в теплицах увеличились объемы выращивания овощной продукции с применением разнообразных режимов досвечивания или выращивания только при искусственном освещении, то есть за счет светокультуры [1, 3, 5, 8, 9]. Особенно актуальна эта технологическая операция в районах с недостатком естественного освещения в осенне-зимние периоды. Производство овощей при использовании различных режимов облучения растений позволяет хозяйствам получать продукцию круглый год и тем самым занять рынок реализации с равномерно распределенной по году прибылью.

Известно, что экономически целесообразно облучать растения на начальной фазе их роста, то есть рассаду тепличных культур, так как период вегетации у нее составляет 25–50 дней, и облучению подвергается одновременно большое количество растений. Получаемая из такой рассады продукция созревает на 20–30 дней раньше с повышенной урожайностью на 20–25%. Вместе с тем необходимо отметить, что отсутствие в излучении ламп отдельных участков спектра может привести к нарушению роста растений при длитель-

ном выращивании их под такими источниками света [3, 5, 10, 11].

Растениям в разные периоды их развития необходимы разные уровни интенсивности света и его спектрального состава. Для нормального развития важно, чтобы растения получали хорошо сбалансированный по спектру свет [9].

Спектральные диапазоны длин световых волн имеют следующее влияние на физиологические особенности роста и развития растений [9]:

– 280–320 нм: оказывает вредное воздействие;

– 320–400 нм: определяет регуляторную роль и для получения эффекта от такого облучения в общем спектре необходимо присутствие всего нескольких процентов этих длин волн;

– 400–500 нм («синий»): необходим для фотосинтеза и регуляции;

– 500–600 нм («зеленый»): полезен для фотосинтеза оптически плотных листьев, листьев нижних ярусов, густых посевов растений, при этом его воздействие организуется за счет высокой проникающей способности;

– 600–700 нм («красный»): ярко выраженное действие на фотосинтез, развитие и регуляцию процессов;

– 700–750 нм («дальний красный»): ярко выраженное регуляторное действие, и для получения эффекта от такого облучения в общем спектре необходимо присутствие всего нескольких процентов этих длин волн;

– 1200–1600 нм: поглощается внутри- и межклеточной водой, и тем самым увеличивает скорость тепловых биохимических реакций.

Исследования, выполненные по изучению эффекта светокультуры, свидетельствуют, что интенсивность света влияет на скорость фотосинтеза. При его низкой интенсивности преобладают процессы дыхания растений, так как энергия для жизнедеятельности извлекается за счет распада ранее синтезированных веществ. Повышение интенсивности света линейно увеличивает фотосинтез. При низкой интенсивности света растения формируются вытянутых форм, а, например, у корнеплодных, плоды

образуются плохо, растения формируют цветоносные стебли. У растений томата и огурца при таком режиме облучения цветы опадают, плоды завязываются небольшие, с низкими вкусовыми качествами. В то же время переход на режим с интенсивным светом позволяет увеличить урожай, получить крупные плоды высокого качества, существенно снизить сроки вегетации, а также скоординировать фотосинтез, рост и развитие растений. Вместе с тем можно отметить, что для выращивания зелени сильный свет вреден, так как рост листовой поверхности замедляется, качество листьев снижается, они желтеют и становятся жесткими [1, 5, 9, 10, 11, 12].

Экспериментально установлены оптимальные нормы облучения в теплице: для выращивания рассады – 40 Вт/м^2 ФАР с фотопериодом 14 часов; для выращивания тепличной продукции – 100 Вт/м^2 с фотопериодом 16 часов при средней суточной интенсивности естественного света – 100 Вт/м^2 [9].

Минимальный среднедневной уровень интенсивности светового потока для роста растений составляет – $2...8 \text{ Вт/м}^2$, а минимальный уровень, при котором растения могут нормально развиваться, цвести и плодоносить – 20 Вт/м^2 . Оптимальным же уровнем интенсивности светового потока при выгонке рассады следует считать – $50-60 \text{ Вт/м}^2$, а для формирования хозяйственно-полезного урожая – $100-200 \text{ Вт/м}^2$. В то же время если этот показатель превышает значение 200 Вт/м^2 , происходит насыщение [1, 9].

Круглогодичная потребность в овощной продукции и относительно высокие цены на нее в период осень-весна делают рентабельными системы электрического досвечивания. В то же время эти системы требуют потребления значительного количества электрической энергии (до 100 Вт на 1 м^3 площади), при достижении уровня освещенности в $6000-7000 \text{ лк}$. Повысить урожайность тепличных культур можно, если добиться освещенности в 20000 лк и выше. Соответственно, для этого необходимо либо устанавливать большее количество светильников и при эксплуатации рас-

ходовать большее количество электрической энергии, либо применять энергоэффективные светодиодные источники света [2].

Цель статьи. Представить обоснование технического решения энергоэффективной системы облучения тепличных растений с использованием светодиодных источников света.

Описание системы и обсуждение. Для облучения рассады разработана, запатентована и исследована регулируемая светодиодная система с генератором синусоидальных колебаний на базе комплементарной пары полевых транзисторов, соединенных по схеме аналога лямбда-диода (АЛД) [4, 6]. Представленная разработка также может быть использована и в автономных приусадебных теплицах, в которых электроснабжение осуществляется от солнечной электростанции повышенной эффективности с охлаждаемыми фотоэлектрическими модулями [7].

Светодиодная система регулируемого облучения рассады [4] содержит следующие структурные элементы (рисунок 1): блок управления 1, генераторы синусоидальных колебаний 2, резонансные трансформаторы 3, линии электропередачи 4, ограничивающие емкости 5 или индуктивности 6, двухполупериодные выпрямители 7, цепи светодиодов 8, емкости 9, 10, а также источник питания 11 постоянного тока.

Блок управления 1 подключен к нескольким генераторам 2, стоящим в цепи питания для каждого цветка светодиодного излучателя. К генераторам 2 через резонансный трансформатор 3 подключены n -линий электропередачи 4 ($n = 1, 2, 3...k$), к которым присоединены параллельно через ограничительную емкость 5 или ограничительную индуктивность 6 m -цепей, образованных из двухполупериодных выпрямителей 7 и светодиодных светильников 8 ($m = 1, 2, 3...p$), причем в каждой цепи последовательно соединены от одного до несколько светильников, состоящих из z -светодиодов ($z = 1, 2, 3...x$), при этом отдельные разноцветные светильники могут быть объединены в один.

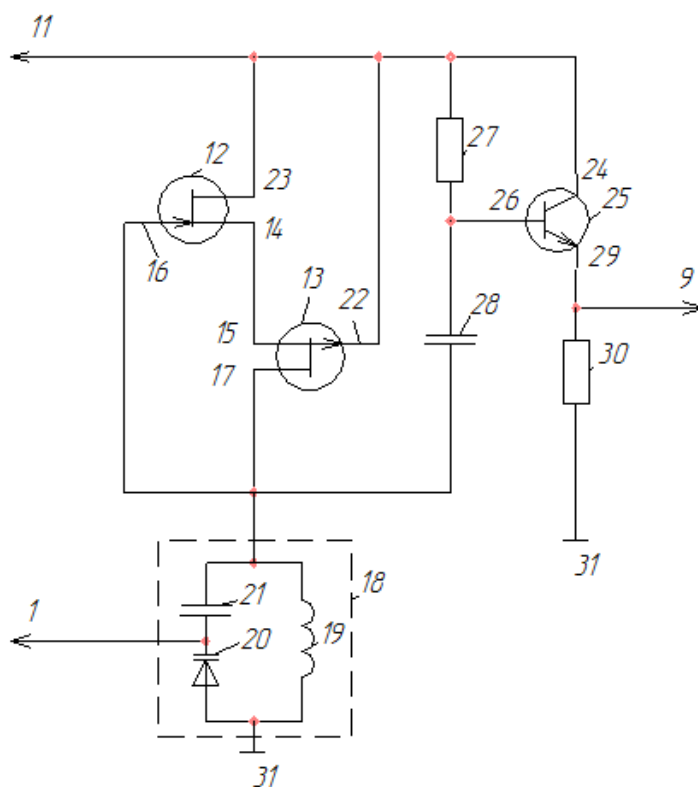


Рисунок 2 – Принципиальная схема генератора синусоидальных колебаний на базе АЛД

При изменении значения напряжения, которое поступает от блока управления 1, изменяется импеданс варикапа 20, а следовательно, емкость и резонансная частота гармонических колебаний параллельного резонансного LC -контура 18. В результате изменяются напряжение на АЛД с комплементарной пары полевых транзисторов 12, 13 и частота колебаний в его контуре. Далее сигнал через эмиттерный повторитель на базе транзистора 25 поступает на конденсатор 9 резонансного трансформатора 3, а через него в линию электропередачи 4 и через емкость 5 или индуктивность 6 на светодиодные светильники 8. При этом емкостное сопротивление элемента X_C по известной формуле ($X_C = 1/\omega C$) уменьшается, а индуктивное сопротивление X_L увеличивается ($X_L = \omega L$).

Присоединение выхода генератора синусоидальных колебаний к первичной обмотке резонансного трансформатора 3 обеспечивает подачу регулируемых синусоидальных колебаний в линию электропередачи 4. В результате изменяется напряжение, которое поступает через выпрямитель 7 на соответствующие светильники 8, что приводит к изменению их яркости и

спектра, если цветные светодиоды входят в один светильник. При дальнейшем увеличении напряжения АЛД переходит в закрытое состояние с током закрытия в несколько пикоампер.

Использование электронного генератора синусоидальных колебаний, выполненного на комплементарной паре полевых транзисторов, резонансного контура и эмиттерного повторителя, приводит к уменьшению массогабаритных размеров системы облучения, а использование источника питания постоянного тока повышает ее электробезопасность.

Выводы. Используя представленную систему, можно для светодиодных ламп получить практически любой спектр, необходимый для облучения конкретных видов выращиваемых растений и для любой стадии их физиологического развития. Единственным недостатком широкого применения в тепличных хозяйствах разработанной системы регулируемого облучения растений является относительно высокая стоимость светодиодных источников света. Разработанная система облучения рассады и растений в теплице обеспечивает необходимый спектр излучения, позволяя со-

кратить потребление электроэнергии до 50% и повысить производительность выращивания рассады на 20%.

Литература

1. Валеев, Р.А. Повышение эффективности облучения меристемных растений с внедрением светодиодных установок: автореферат диссертации кандидата технических наук / Р.А. Валеев. – Москва, 2014. – 19 с.

2. Вовденко, К.П. Исследование световой характеристики светодиодного светильника / К.П. Вовденко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2011. – № 11. – С. 31.

3. Гладин, Д.В. Использование светодиодных технологий в сельском хозяйстве / Д.В. Гладин // Полупроводниковая светотехника. – 2012. – № 2. – С. 60–65.

4. Жарков, В.Я. Розробка енергоекономічних приладів на базі аналога лямбда-діода для АПК / В.Я. Жарков, А.Я. Чураков, А.В. Жарков. – Режим доступа: <http://www.google.com.ua/url?url/> (06.11.2015).

5. Мороз, Д.С. Продуктивность растений томата, выращенных под светодиодными облучателями с различным спектральным составом и интенсивностью / Д.С. Мороз, Н.И. Астасенко, В.И. Цвирко // Физиолого-биохимические основы продукционного процесса у культивируемых растений: материалы Всероссийского симпозиума с международным участием, посвященного 85-летию со дня рождения В.А. Кумакова, 13–15 октября 2010 г., Саратов. – Саратов: Саратовский источник, 2010. – С. 58–60.

6. Пат. 100210 Украина (UA), МПК (2015.01) A01G9/20, F21S10/00, F21Y101/02. Регульована світлодіодна система опромінення розсади / В.Я. Жарков, А.Я. Чураков, О.В. Піхтарь. – Заявл. 26.02.2015; опубл. 10.07.2015, Бюл. № 13.

7. Пат. 103043 Украина (UA), МПК (2015.01) H01L31/00, H02J7/35. Присадибна сонячна електростанція з фотоелектричними модулями циліндричної форми / В.Я. Жарков, А.В. Жарков, І.А. Орловсь-

кий, О.В. Піхтарь, С.В. Галько. – Заявл. 07.07.2015; опубл. 25.11.2015, Бюл. № 22.

8. Степанчук, Г.В. Облучательные установки для культивационных сооружений / Степанчук Г.В., Ключка Е.П. // Овощеводство и тепличное хозяйство. – 2011. – № 5. – С. 27–30.

9. Тихомиров, А.А. Светокультура растений в теплицах / А.А. Тихомиров, В.П. Шарупич, Г.М. Лисовский. – Режим доступа: <http://www.greenhouses.ru /Svetokultura> (30.01.2016).

10. Dzakovich, M.P. Tomatoes Grown with Light-emitting Diodes or High-pressure Sodium Supplemental Lights have Similar Fruit-quality Attributes / Michael P. Dzakovich, Celina Gómez, Cary A. Mitchell // HortScience October 2015 50:1498–1502.

11. Ouzounis, T. Spectral Effects of Artificial Light on Plant Physiology and Secondary Metabolism: A Review / Theoharis Ouzounis, Eva Rosenqvist, Carl-Otto Ottosen // HortScience August 2015 50:1128–1135.

12. Kong, S.-W. The Contribution of Different Spectral Sections to Increase Fresh Weight of Boston Lettuce / Shih-Wei Kong, Hsin-Ying Chung, Ming-Yi Chang, Wei Fang // HortScience July 2015 50:1006–1010.

13. Randall, W.C. Comparison of Bedding Plant Seedlings Grown Under Sole-source Light-emitting Diodes (LEDs) and Greenhouse Supplemental Lighting from LEDs and High-pressure Sodium Lamps / Wesley C. Randall, Roberto G. Lopez // HortScience May 2015 50:705–713.

References

1. Valeev R.A. Povyshenie jeffektivnosti obluchenija meristemnyh rastenij s vnedreniem svetodiodnyh ustanovok: avtoref. dis. kand. tehn. nauk [Improving the efficiency of meristem plants irradiation with the LED systems implementation: abstract of author's thesis], Moscow, 2014, 19 p.

2. Vovdenko K.P. Issledovanie svetovoj harakteristiki svetodiodnogo svetil'nika [Study of the of the LED lamp light characteristics], *Mehanizacija i jelektifikacija sel'skogo hozjajstva*, 2011, No. 11, p. 31.

3. Gladin D.V. Ispol'zovanie svetodiodnyh tehnologij v sel'skom hozjajstve [The

application of LED technology in agriculture], *Poluprovodnikovaja svetotehnika*, 2012, No. 2, pp. 60–65.

4. Zharkov V.Ja., Churakov A.Ja., Zharkov A.V. Rozrobka energoekonomichnih priladiv na bazi analoga ljambda-diody dlja APK [Designing energy efficient devices based on lambda-diode analog for agriculture], available at: <http://www.google.com.ua/url?url/> (06.11.2015).

5. Moroz D.S., Astasenko N.I., Cvirko V.I. Produktivnost' rastenij tomata, vyrashhennyh pod svetodiodnymi obluchateljami s razlichnym spektral'nym sostavom i intensivnost'ju [The productivity of tomato plants grown under LED illuminators with different spectral composition and intensity], *Fiziologo-biohimicheskie osnovy produkcionnogo processa u kul'tiviruemyh rastenij: materialy Vserossijskogo simpoziuma s mezhdunarodnym uchastiem, posvjashhennogo 85-letiju so dnja rozhdenija V.A. Kumakova*, 13–15 oktjabrja 2010 g., Saratov, Saratovskij istochnik, 2010, pp. 58–60.

6. Zharkov V.Ja., Churakov A.Ja., Pihtar' O.V. Pat. 100210 Ukraine (UA), MPK (2015.01) A01G9/20, F21S10/00, F21Y101/02, Regul'ovana svtlodiodna sistema oprominennja rozsadi [Adjustable LED seedling irradiation system], *zajavl.* 26.02.2015; *opubl.* 10.07.2015, *Bjul.* No. 13.

7. Zharkov V.Ja., Zharkov A.V., Orlovskij I.A., Pihtar' O.V., Gal'ko S.V. Pat. 103043 Ukraine (UA), MPK (2015.01) H01L31/00, H02J7/35, Prisadibna sonjachna elektrostancija z fotoelektrichnimi moduljami cilindrichnoï formi [Homestead solar power

plant with cylindrical photovoltaic modules], *Zajavl.* 07.07.2015; *opubl.* 25.11.2015, *Bjul.* No. 22.

8. Stepanchuk G.V., Kljuchka E.P. Obluchatel'nye ustanovki dlja kul'tivacionnyh sooruzhenij [Irradiation systems for cultivation constructions], *Ovoshhevodstvo i teplichnoe hozjajstvo*, 2011, No. 5, pp. 27–30.

9. Tihomirov A. A., Sharupich V.P., Liovskij G.M. Svetokul'tura rastenij v teplicah, available at: <http://www.green-houses.ru/Svetokultura> (30.01.2016).

10. Dzakovich M.P. Tomatoes Grown with Light-emitting Diodes or High-pressure Sodium Supplemental Lights have Similar Fruit-quality Attributes / Michael P. Dzakovich, Celina Gómez, Cary A. Mitchell // *HortScience* October 2015 50:1498–1502.

11. Ouzounis T. Spectral Effects of Artificial Light on Plant Physiology and Secondary Metabolism: A Review / Theoharis Ouzounis, Eva Rosenqvist, Carl-Otto Ottosen // *HortScience* August 2015 50:1128–1135.

12. Kong S.-W. The Contribution of Different Spectral Sections to Increase Fresh Weight of Boston Lettuce / Shih-Wei Kong, Hsin-Ying Chung, Ming-Yi Chang, Wei Fang // *HortScience* July 2015 50:1006–1010.

13. Randall W.C. Comparison of Bedding Plant Seedlings Grown Under Sole-source Light-emitting Diodes (LEDs) and Greenhouse Supplemental Lighting from LEDs and High-pressure Sodium Lamps / Wesley C. Randall, Roberto G. Lopez // *HortScience* May 2015 50:705–713.

Сведения об авторах

Степанчук Геннадий Владимирович – кандидат технических наук, доцент, декан энергетического факультета, Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ в г. Зернограде (Россия). Тел.: 8-928-957-16-43.

Юдаев Игорь Викторович – доктор технических наук, профессор кафедры «Энергетика», заместитель директора по научной работе, Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ в г. Зернограде (Россия). Тел.: 8-905-397-64-17. E-mail: etsh1965@mail.ru.

Жарков Антон Викторович – инженер, ООО «ЮБС-Холод», соискатель, Таврический государственный агротехнологический университет (г. Мелитополь, Украина).

The information about the authors

Stepanchuk Gennady Vladimirovich – Candidate of Technical Sciences, associate professor, Dean of the Energy faculty, Azov-Black Sea Engineering Institute – branch of FSBEI HE «Don State Agrarian University» in Zernograd (Rostov region, Russia). Phone: 8-928-957-16-43.

Yudaev Igor Viktorovich – Doctor of Technical Sciences, professor of the Power engineering department, Deputy Director for Science, Azov-Black Sea Engineering Institute – branch of FSBEI HE «Don State Agrarian University» in Zernograd (Rostov region, Russia). Phone: 8-905-397-64-17. E-mail: etsh1965@mail.ru.

Zharkov Anton Viktorovich – engineer, LLC «UBS-Cold», applicant, Taurian State Agrotechnological University (Melitopol, Ukraine).