

Экономия электроэнергии в световых технологиях сельскохозяйственного производства

С.А. ОВЧУКОВА, Н.П. КОНДРАТЬЕВА^{1*}, О.Ю. КОВАЛЕНКО²

¹ ИжГСХА, Ижевск

² Мордовский ГУ им. Н.П. Огарёва, Саранск

*E-mail: aep_isha@mail.ru

Аннотация

При постоянном удорожании электроэнергии и неизменном уровне финансирования сельскохозяйственного (СХ) производства удовлетворять потребности населения в пищевой продукции становится всё труднее. В этих условиях актуально применение энергосберегающих световых технологий для облучения молочного стада, птицы и растений. В статье излагаются приёмы экономии электроэнергии, вытекающие из собственных многолетних теоретических и экспериментальных исследований авторов и их аспирантов, достоверность которых подтверждена защищёнными диссертациями, подробно представляющими теоретические и практические достижения, подтверждённые протоколами экспериментов и актами хозяйственных и заводских испытаний. Статья может быть полезна многочисленным мелким СХ хозяйствам нашей страны при выборе энергосберегающих световых технологий.

Ключевые слова: энергосбережение, световые технологии, оптическое излучение, освещение, облучение, разрядные лампы, светодиоды, микропроцессорные системы управления, доза облучения, животноводство, защищённый грунт, фотосинтез.

Введение

В условиях роста цен на электроэнергию и комплектующие материалы при ограниченном бюджетном финансировании рост выпуска пищевой продукции требует поиска новых экономных электротехнологий сельскохозяйственного (СХ) производства, к которым можно отнести и световые технологии, энергоэкономичные и безвредные для биообъектов и производимой продукции. В своих

исследованиях мы использовали все составляющие оптического излучения: УФ, видимую, ИК и фотосинтетически активную. Исследования касались всего цикла производства пищевой СХ продукции:

- создание и внедрение новых эффективных источников излучения и облучателей;

- разработка схем включения установок со светодиодами (СД) с использованием программного комплекса промышленной автоматизации «CoDeSys»;

- обоснование и реализация доз УФ облучения, режимов и способов облучения животных, растений и семян;

- разработка и внедрение нового экспресс-метода этологического контроля молочного стада, который по результатам промежуточных измерений позволяет прогнозировать конечную продукцию стада без вмешательства в поведение животных.

Настоящая статья служит обзором многолетних совместных работ авторов по световым технологиям (с точки зрения экономии электроэнергии), который может быть полезен многочисленным мелким хозяйствам России в выборе энергосберегающих световых технологий.

Освещение – орудие световых технологий. Повышение уровня освещённости до 150 лк повышает надои коров, привесы крупного рогатого скота и поросят, о чём свидетельствуют результаты нашей многолетней работы в племосовхозе «Ачкасово» Московской области [1].

Опыты в птичнике, в Мордовии, показали, что продление светового дня до 15 ч в сутки способствует повышению яйценоскости кур до 25 %, а продление светового периода за 15 ч в сутки снижает этот показатель [2]. Освещение птицеферм не требует больших затрат электроэнергии в силу малой нормированной

освещённости для кур (30–40 лк), но для стабильной яйценоскости требуется постепенность переходов от света к темноте и наоборот. Соответствующая регулировка светового потока обеспечивалась в опытах Мордовского ГУ системами управления освещением.

Технологическое **облучение** использует в основном УФ и ИК области оптического излучения. Под действием эритемного УФ излучения ($\lambda = 315\text{--}280\text{ нм}$) в организме животных образуется витамин D_3 , который разносится по всему организму гуморальным и рефлекторным образом, укрепляя иммунитет и повышая резистентность к ряду болезней. В животноводческих и птицеводческих помещениях наблюдается острая недостаточность УФ облучения. Частично компенсируют это эритемные лампы с колбой из увиолевого стекла, которое пропускает излучение с $\lambda > 280\text{ нм}$. УФ облучение получали животные и птица, что оказалось эффективнее и дешевле витаминизации кормов. УФ источниками служили $G13\ 40\text{ Вт } \lambda_{\text{max}} = 280\text{--}315\text{ нм}$, производитель НИИИС (Саранск). Лампы работали в облучателях типа ЭСП0–40–111 RAY UV-V, производитель Ардатовский СТЗ. Имитацию солнечного света обеспечивала УФ лампа Osram ULTRA-VITALUX 300W 230V E27, UVA315–400nm, UVB280–315nm. Для облучения телят в племосовхозе «Ачкасово» мы использовали разработанные в Мордовском ГУ ЛЛ мощностью 15, 30 и 40 Вт из бактерицидного стекла с частично нанесённым на колбу эритемным люминофором [3, 4]. Повышенное терапевтическое действие ламп обеспечивалось соотношением 1: 1,4 потоков излучения в УФ-С и УФ-В зонах оптического спектра. В качестве переносных излучателей использовались усовершенствованные нами лампы комбинированного излучения типа ДРВЭД, срок службы которых был повышен заменой горелок на четырёхэлектродные с полным катодом и недокалом балластной нити накаливания.

Излучение в диапазоне $\lambda = 200\text{--}280\text{ нм}$ обладает обеззараживающим действием. УФ-С излучение стерилизует воздух, воду, навозные стоки, тару, продукты, медицинские инструменты и пр. Степень сниже-

ния количества микроорганизмов определяется дозой облучения. Так, уничтожение бактерий холеры, стафилококка, коли и тифа, по последним данным, достигается при дозе 160 Дж/м² [3, 4]. Для максимального уничтожения микроорганизмов в воздухе мы использовали РЛНД серии «ЛБ» с колбой из бактерицидного стекла мощностью 15, 30 Вт и РЛВД типа ДРТ-400 (мощность 400 Вт) в облучателях типа ОРБН 2×15–01. Для обеззараживания воды применялись амальгамные лампы мощностью 500–900 Вт производства ООО ПК «ЛИТ». (Лампы эти экологичны, поскольку ртуть в них находится в связанном состоянии.) Попутно отметим интересный комбинированный энергоэкономичный облучатель-рециркулятор закрытого типа «АрУФ», для птицеводческих помещений, сочетающий распыление аэрозоля, УФ-С облучение и вентиляцию, разработанный в *FSA engineering Center VIM* [5].

При переходе в ИК область спектра, на $\lambda = 680\text{--}1400$ нм, энергия фотонов снижается, и выделяемой кинетической энергии хватает лишь на колебательное движение молекул, вызывающее тепловую эрриту, которая способствует усилению кровотока, усвоемости корма и других биологических процессов, обеспечивающих прирост и резистентность молодняка животных при экономии корма. В ИК облучении нередко используются облучатели ССП01 (светильник с СД влагозащищенный) и ССП05 мощностью по 250 Вт и др. Поскольку комбинированный обогрев эффективнее, в животноводстве используются светотехнические установки с ИК и эритемными лампами, такие как «ИКУФ» и «Луч». Для повышения энергоэкономичности ИК облучения молодняка использовались электронагревательные коврики, а для исключения эффекта фотореактивации облучение проводилось при отключённом освещении.

Недостаток разрядных ламп – наличие в них токсичной ртути, которая при температурах ниже -20 °С, к тому же, вымораживается, и напряжения сети становится недостаточно для зажигания ламп. Этого недостатка лишены лампы с полым катодом. Полюс катод обеспечивает работу ламп от сети без зажига-

ющего устройства в схеме включения при любых низких температурах и высоком сроке службы [1, 6]. Это решает проблему использования разрядных ламп на Севере. Ртутные и металлогалогенные лампы с полым катодом мощностью 400 Вт разработаны в МЭИ, но сегодня изготовление их возможно только по спецзаказу.

Производство растениеводческой пищевой продукции защищённого грунта требует огромных энергозатрат в силу высоких световых норм и большого числа холодных регионов в России [7]. На искусственное облучение растений приходится более 25 % энергопотребления агропромышленного комплекса [8]. Все высокоинтенсивные ртутные лампы имеют недостаток красной составляющей, на $\lambda = 600\text{--}700$ нм. Из выпускавшихся промышленностью источников излучения по спектру наиболее подходят для растений МГЛ мощностью 3000 и 6000 Вт (в установках УОРТ-4–2 и СОРТ –1–10), наполненные, помимо ртути, галогенидами *Tl*, *Na* и *In* (они не имеют красной составляющей в спектре, но выпускались СПО «Лисма» как растениеводческие). Вообще МГЛ имеют большой срок службы, достаточно хорошую световую отдачу, 95 лм/Вт, но широкое применение в сооружениях защищённого грунта по всему миру нашли НЛВД. При этом уже ведутся сравнительные оценки тепличных облучателей с НЛВД и с СД [9].

Наилучшие условия для выращивания растений – на их прародине. Поэтому надо изучать историю выращиваемого растения и воссоздавать характерный спектр оптического излучения этого региона. Так, гвоздика ремонтантная имеет прародину в Альпах, картофель – в Бразилии, а огурец – в Индии [10]. Так, имитация натурального солнечного спектра Перу в фитототроне Удмуртского НИИ сельского хозяйства [11] ускорила выращивание меристемного картофеля на 4 дня, повысила выход продукции на 15 %, снизила расход электроэнергии на 50 %. Для поддержания требуемого спектра излучения был разработан алгоритм работы для программируемых логических контроллеров с использованием программного комплекса промышленной автома-

тизации «CoDeSys» для фитоустановок с СД.

Экономия электроэнергии может давать импульсный режим облучения: во время импульса растение впитывает энергию, а во время паузы перерабатывает [11]. Наиболее фундаментальный труд по этой тематике [12] показал эффективность соотношения продолжительностей света и паузы 0,6 с: 1 с. Причём во время паузы в РЛВД поддерживается вспомогательный разряд между основным и вспомогательным электродами.

В последнее время всё большее распространение получают СД источники излучения. Они экономичнее разрядных ламп за счёт большей энергоэффективности, долговечности и экологичности [2, 13]. В России объём производства СД составляет 10 % от их объёма потребления, остальные 90 % СД импортируются. Облучательные установки с СД удобны в использовании с интеллектуальными системами управления освещением.

Исследования показали, что спектральная зона УФ-А играет положительную роль в «пробуждении» семян, что выражается повышением энергии прорастания и получения дружных всходов, например, древесных культур (ели) [14]. Для поддержания требуемой дозы УФ облучения была специально разработана микропроцессорная система [15, 16].

Таким образом, экономия электроэнергии в световых технологиях СХ производства возможна при широком применении энергосберегающих интеллектуальных фитоустановок с СД, в которых можно создавать любой спектр излучения и поддерживать требуемую дозу облучения с помощью программируемых логических контроллеров.

В заключение, опираясь на результаты собственных исследований, можно рекомендовать следующие способы экономии электроэнергии в световых технологиях СХ производства:

1. Во избежание зартученности помещений предпочтительнее использовать вместо ЛЛ экологичные амальгамные лампы или СД излучатели.

2. В уличном освещении в холодных зонах незаменимы лампы «ДРЛ» и МГЛ мощностью до 400

или 700 Вт с полым катодом, которые включаются при напряжении 220 В без дополнительных зажигающих устройств.

3. Необходимо учитывать возможность изменения спектра излучения ламп при изменениях температуры, влажности и других параметров окружающей среды, что влияет на дозу облучения.

4. Для получения высоких урожаев необходим анализ спектральных составляющих естественного солнечного излучения прародины выращиваемых растений и имитация их фитооблучателями с СД, управляемыми программируемыми логическими контроллерами.

5. Можно существенно экономить электрическую энергию, используя импульсное облучение растений облучательными установками с СД, а также комбинированное облучение (то есть одновременное использование электронагревательных ковриков, эритемного и прочего оптического излучения).

6. Для автоматического регулирования потока и спектра излучения, дозы облучения, времени включения и отключения осветительных (облучательных) установок следует активно применять микропроцессорные системы управления или программируемые логические контроллеры, так как недооблучение и переоблучение ведут к негативным последствиям.

7. Следует повышать продуктивность животных, используя этологический (поведенческий) метод, позволяющий отбирать здоровых животных, не вмешиваясь в их поведение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Овчукова С.А. Применение оптического излучения в сельскохозяйственном производстве / Дис...д-ра техн. наук. – М., 2001. – 515 с.

2. Zhuravleva Yu.A., Kovalenko O. Yu., Nesterkina N.P., Ovchukova S.A. Optical Radiation and Growth of Farm Animals // Bioscience Biotechnology Research Communications. – 2019. – Vol. 10, No. 5. – P. 126–130.

3. Коваленко О.Ю. Светотехнические установки для повышения продуктивности сельскохозяйственных животных / Дис...д-ра техн. наук. – Саранск, 2009. – 496 с.

4. Пильщикова Ю.А. Повышение эффективности облучательной установки для птицеводства / Дис...к-та техн. наук. – Саранск, 2014. – 152 с.

5. Юфеев Л.Ю., Довлатов И.М. Повышение эффективности энергоресурсосберегающей системы УФО // Вестник ВИЭСХ. – 2017. – № 2(27). – С. 70–75.

6. Атаев А.Е., Ворончев Т.А., Мельников Б.М., Овчукова С.А., Урланова М.А. Ртутная газоразрядная лампа высокого давления / Авт. свид. СССР № 680083. 1979. Бюл. № 30.

7. Прикупец Л.Б. Светокультура. Рациональный подход к выбору системы освещения // Теплицы России. – 2016. – № 1. – С. 56–61.

8. Прикупец Л.Б., Емелин А.А., Тараканов И.Г. Светодиодные облучатели: из фитотрона в теплицу? // Теплицы России. – 2015. – № 2. – С. 52–56.

9. Кондратьева Н.П., Филатов Д.А., Терентьев П.В., Аль-Хелю А.С. Сравнительная оценка основных характеристик натриевых и светодиодных тепличных облучателей // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2020. – Т. 14, № 1. – С. 50–54.

10. Bolshin R.G., Kondratieva N.P., Krasnolutskaya M.G. Irradiating set with UV diodes and microprocessor system of automatic dose control // Light & Engineering. – 2019. – Vol. 27, No. 6. – P. 127–132.

11. Kondrateva N.P., Bolshin R.G., Belov V.V., Krasnolutskaya M.G. Energy-saving electric equipment applied in agriculture / International Science and Technology Conference EastConf 2019 (Vladivostok, 01–02.03.2019). – Vladivostok, 2019. – P. 436–438.

12. Корш Б.В. Использование коротких серий импульсного освещения для изучения процессов фотосинтеза дыхания зелёных растений на свету / Дис...к-та биол. наук. – Л.: 1976. – 194 с.

13. Коваленко О.Ю., Журавлёва Ю.А., Микаева С.А., Немов В.В. Исследование изменения светотехнических характеристик полупроводниковых источников света различного конструктивного исполнения в процессе эксплуатации // Вестник Мурманского государственного технического университета. – 2019. – Т. 22, № 4. – С. 471–476.

14. Краснолуцкая М.Г. Повышение эффективности ультрафиолетовой светодиодной облучательной установки для предпосевной обработки семян ели / Дис...к-та техн. наук. – Ижевск, 2018. – 163 с.

15. Kondrateva N.P., Kasatkina N.I., Kuryleva A.G., Baturina K.A., Pilyasov I.R., Korepanov R.I. Effect of treatment of seeds of grain crops by ultraviolet radiation before sowing // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. – 2020. – Vol. 433. – P. 012039.

16. Kondrateva N., Terentyev P., Filatov D., Maksimov I., Kirillov N., Ovchukova S., Rybakov L. The effect of greenhouse irradiators on the load factor of step-down transformers // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. – 2020. – Vol. 433. – P. 012039.



Овчукова Светлана Александровна,

доктор техн. наук, доцент. Окончила в 1963 г. Мордовский государственный университет. Область научных интересов: применение источников оптического

излучения в промышленности и сельском хозяйстве



Кондратьева Надежда Петровна, доктор техн. наук, профессор.

Окончила в 1978 г. Челябинский институт механизации и электрификации сельского хозяйства. Зав. кафедрой «Автоматизированный электропривод» Ижевской государственной сельскохозяйственной академии (ИжГСХА). Имеет свою научную школу в области сельскохозяйственной светотехники и занимается разработкой энергосберегающих световых технологий для предприятий АПК. Имеет звание «Почётный работник высшего профессионального образования Российской Федерации»



Коваленко Ольга Юрьевна, доктор техн. наук, доцент.

Окончила в 1983 г. МГУ им. Н.П. Огарёва по специальности «Светотехника и источники света». Профессор кафедры метрологии, стандартизации и сертификации Института

электроники и светотехники Национального исследовательского Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарёва. Область научных интересов: измерение и контроль параметров осветительных и облучательных систем