

низкой температуре в баке-аккумуляторе возможна организация рециркуляции воды с возможностью подмешивания холодной воды из системы холодного водоснабжения.

Проведенный анализ показал целесообразность охлаждения фотоэлектрических панелей при высоких температурах с целью повышения отбираемой мощности. Предложенное техническое решение позволяет решать поставленную проблему, а также получать дополнительный источник энергии в виде саккумулированной теплой воды, которую можно использовать для технологических нужд.

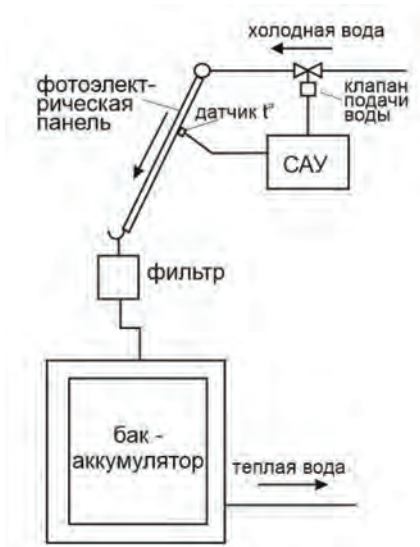


Рисунок 4 – Система охлаждения солнечной батареи

ЛИТЕРАТУРА

1. Bannert, P. Praktika z fotovoltaiky. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://is.muni.cz/el/1441/jaro2012/FY2BP_EkO/um/praktika_z_fotovoltaiky.pdf. – Дата доступа: 04.03.2020.
2. Температурный режим фотоэлементов солнечных батарей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://super-alternatiwa.narod.ru/photovoltaic.htm>. – Дата доступа: 04.03.2020.
3. Разработка солнечной фотоэлектрической системы автономного электроснабжения индивидуальных потребителей в тропических условиях. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://drive.google.com/file/d/1V2IeQOCXdqNwRFnw2f8QKEpυqaA78WPx/view>. – Дата доступа: 04.03.2020.

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕПЛИЦАХ ANALYSIS OF THE PROSPECTS FOR THE USE OF LED LIGHTING IN INDUSTRIAL GREENHOUSES

Л. А. Липницкий, И. А. Курюхин, В. В. Сивуха
L. Lipnitski, I. Kirukhin, V. Sivukha

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова,
г. Минск, Республика Беларусь
gloomyhit@gmail.com*

The Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

В промышленных теплицах используются различные виды систем освещения, которые оказывают влияние на рост растений, создавая различные спектры электромагнитного излучения. В публикации проведены сравнения различных источников света и рассмотрены преимущества и перспективы использования светодиодной системы освещения, ее влияние на рост и развитие растений в сравнении с другими системами освещения.

In industrial greenhouses, various types of lighting systems are used, which affect the growth of plants, creating various spectra of electromagnetic radiation. The publication compares various light sources and discusses the advantages and prospects of using a LED lighting system, its effect on the growth and development of plants in comparison with other lighting sources.

Ключевые слова: спектр излучения, системы освещения, светодиодные источники света, натриевые лампы.

Keywords: radiation spectrum, lighting systems, LED light sources, sodium lamps.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2020-2-402-405>

Солнечный свет – жизненно необходимая составляющая для полноценного развития растения, который вместе углекислым газом, как источником углерода, и водой, как источником кислорода, обеспечивает процесс фотосинтеза, при котором энергия света используется для превращения указанных веществ в органические соединения. В различных географических регионах, особенно в зимнее время, освещения от солнца недостаточно, чтобы обеспечить полноценное развитие и рост растения. Для полноценного и стабильного развития растениям необходимо получать достаточное освещение не менее 15 часов в сутки.

При этом растения поглощают не весь спектр электромагнитного излучения. Наибольшее влияние оказывают синий, оранжевый и красный спектры светового потока. Желтый и зеленый спектры большей частью от поверхности растения отражаются (рис. 1).

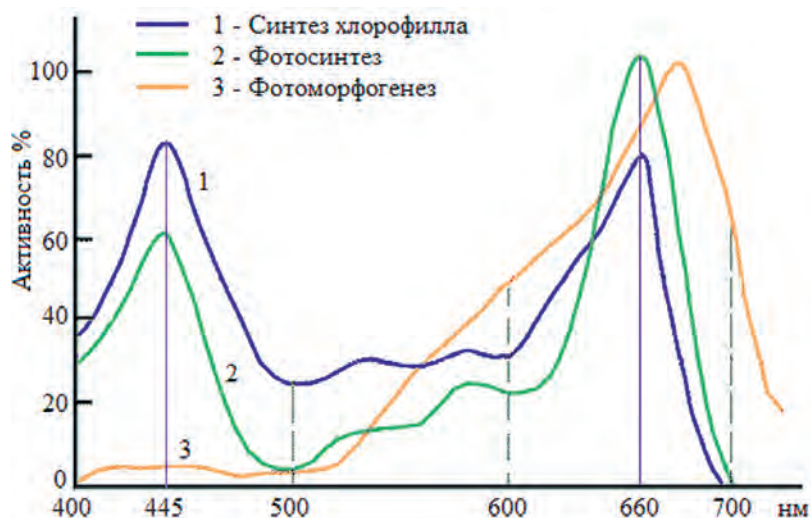


Рисунок 1 – Влияние спектра света на фотосинтез в растениях

Для «нормального» развития растений рекомендуются следующие спецификации [1]:

1. минимальное количество фотосинтетического света должно составлять от 30 до 50 моль/м²/с, которое позволяет большинству растений сохранять свою жизнедеятельность;
2. минимальное количество синего света должно колеблется в пределах от 5 до 30 моль/м²/с;
3. должно обеспечиваться несколько большая часть красного и дальнего красного света по сравнению с синим светом;
4. предпочтительным должно быть соотношение красного и дальнего красного света менее 2;
5. количество ультрафиолетового света должно быть ограниченным и не превышать 4 кДж/м²/день.

При оснащении промышленных теплиц системами освещения основной целью является создание идентичного солнечному свету излучения, с усиленным спектром необходимого для повышения количества и качества продукции.

Для соответствия нормам технологического проектирования для репродукционных теплиц и селекционных комплексов, нехватка в естественной обеспеченности растений солнечным светом должна быть компенсирована дополнительным искусственным освещением. При этом искусственное освещение используется в случае, когда растение получает на 10% меньше освещения от требуемого для его полноценного роста.

Все осветительные приборы для промышленных теплиц должны соответствовать определенным условиям:

1. водонепроницаемость;
2. пылезащищенность;
3. безопасность для здоровья человека.

Зачастую это источники света со спектром, приближенным к естественному солнечному свету. Дополнительное освещение должно иметь способы регулирования для обеспечения растений необходимым световым потоком. Изменение спектрального состава света также является необходимым условием для световых систем.

Для генерации освещения растений могут использоваться различные виды световых систем: лампы накаливания, люминесцентные лампы, энергосберегающие люминесцентные лампы, ртутные лампы высокого давления, натриевые лампы высокого давления (НЛВД, ДНА, ДНАТ), металлогалогенные (МГЛ, ДРИ), светодиодные. Наиболее используемыми в теплицах являются натриевые и газоразрядные ртутные лампы [2].

Различные виды систем освещения имеют разную световую отдачу и КПД, приведенные в таблице 1.

Наиболее перспективные по данным параметрам являются светодиодные источники света. Они имеют наиболее высокий КПД и светоотдачу.

Светодиоды также могут обеспечивать растение различными спектрами излучения в отличие от ламп ДНаТ, которые ограничивают рост растений (рис.2).

Таблица 1 – Световая отдача и КПД различных типов светильников

Категория	Тип	Световая отдача (лм/Вт)	КПД
На основе горения	Свеча	0,3	0,04 %
	Газовая горелка	2	0,3 %
Лампы накаливания	5 Вт лампа накаливания (120 В)	5	0,7 %
	40 Вт лампа накаливания (120 В)	12,6	1,9 %
	100 Вт лампа накаливания (120 В)	16,8	2,5 %
	100 Вт лампа накаливания (220 В)	13,8	2,0 %
	100 Вт галогенная лампа (220 В)	16,7	2,4 %
	2,6 Вт галогенная лампа (5,2 В)	19,2	2,8 %
	Кварцевая галогенная лампа (12-24 В)	24	3,5 %
	Высокотемпературная лампа	35	5,1 %
Люминесцентные лампы	5-24 Вт компактная флюоресцентная	45-60	6,6-8,8 %
	T12 линейная, с магнитным балластом	60	9 %
	T8 линейная, с электронным балластом	80-100	12-15 %
	T5 линейная	70-100	10-15 %
Светодиод	Белый светодиод	97 — 210	50-90 %
Дуговые лампы	Ксеноновые газоразрядные лампы	30-50	4,4-7,3 %
	Дуговые ртутные металлогалогенные лампы	50-55	7,3-8,0 %
Газоразрядные лампы	Натриевая лампа высокого давления	150	22 %
	Натриевая лампа низкого давления	183 — 200	27-29 %
	Лампа на галогенидах металлов	65-115	9,5-17 %
	1400 Вт Серная лампа	100	15 %

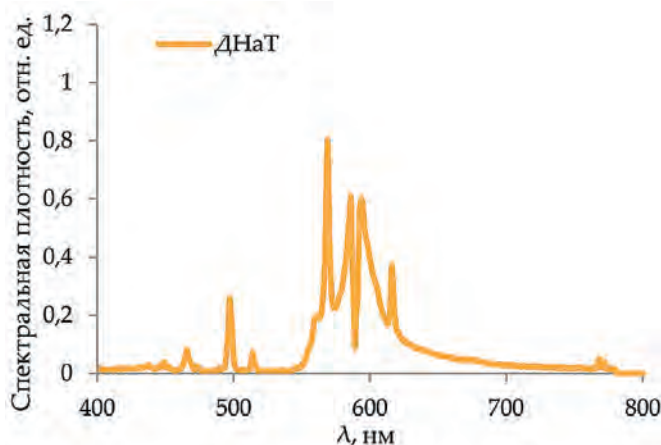


Рисунок 2 – Спектр излучения ДНаТ

Натриевые лампы обладают невысоким спектром радиусного освещения, при этом достаточно большая часть света приходится на инфракрасный спектр, что может негативно сказаться на растениях. При использовании ДНаТ велика вероятность перегрева растений [3].

В отличие от ДНаТ светодиодные светильники, по мнению авторов, обладают рядом следующих преимуществ:

1. Излучение световых волн строго определенной длины, что позволяет учесть особенности различных культур и подобрать оптимальное количество различного спектра светодиодов, а также путем отключения определенных светодиодов различных спектров, дополнительно экономить электроэнергию, так как на разных этапах развития растения присутствуют отличия в потребляемом спектре излучения [4].

2. Различные по мощности светодиодные лампы позволяют обеспечить необходимую освещенность для промышленной теплицы.

3. Светодиоды потребляют значительно меньше энергии, чем лампы ДНаТ, благодаря чему, снижается себестоимость продукции.

4. Незначительный нагрев конструкции позволяет поместить светодиодные светильники достаточно близко к растениям без вреда для них, что позволяет использовать многоярусные решения для разведения культур. Не происходит пересушивания почвы из-за нагрева.

5. Для работы светодиодных светильников не требуется высокое напряжение. Также они менее чувствительны к перепадам напряжения.

6. Благодаря несложной конструкции светодиоды легко заменять.

7. Наиболее высокий срок службы в отличие других видов ламп. Срок эксплуатации составляет от 30 000 до 70 000 часов.

8. Экологичный вид систем освещения.

Однако светодиодные светильники имеют более высокую цену, чем лампы ДНаТ, но благодаря тому, что они имеют большой срок службы и меньшую потребляемую мощность, светодиодные светильники являются более экономичными. Проведенный сравнительный расчет представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Технично-экономическое сравнение различных типов светильников ДНАТ и светодиодных светильников

Характеристики	ДНаТ	Светодиодный светильник
Потребляемая мощность, Вт	250	60
Время работы в сутки, ч	12	
Потребляемая энергия за сутки, кВт/ч	3	0,72
Стоимость кВт/ч руб	0,2090	
Цена лампы, руб	23,64	0
Цена светильника, руб	109	199
Кол-во замен ламп за год	1	0
Гарантийный срок эксплуатации	0	3
Расчет экономии электроэнергии при замене одного светильника		
Потребляемая электроэнергия в год, кВт/ч	1095	262,8
Потребляемая электроэнергия в год, руб	229	54
Экономия электроэнергии в год, руб	175	
Срок окупаемости вложений, лет		
Эксплуатационные расходы по замене ламп в год, руб	23,64	0
Затраты на светильник в 1 год, руб	385,28	253
Экономия за 1 год, руб	132,28	
Срок окупаемости светодиодного светильника 1 год		
Затраты на светильник за 3 года, руб	890,56	361
Экономия за 3 года, руб	529	

Сравнительный анализ показывает, что светодиодное освещение для теплиц имеет наибольшие перспективы. Их использование, как показывают расчеты, дает возможность их быстрой окупаемости. Компактность и высокая светоотдача позволяют получать максимальную эффективность от использования светодиодных ламп при минимальной их мощности на единицу площади и снижении затеняемости растений конструктивными элементами в теплице от естественного освещения. При этом появляется возможность лучше адаптировать данные осветительные приборы под спектральные требования растений, добиваясь тем самым наивысшей эффективности при их выращивании. Перечисленные достоинства данного вида освещения позволяют ускорить его внедрение в систему промышленного растениеводства в защищенном грунте.

ЛИТЕРАТУРА

1. The effect of light spectrum on plant development [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.cannagardening.com/effect_light_spectrum_plant_development. – Дата доступа: 07.03.2020.

2. Волков, В.Н., Светицкий, И.И., Сторожев, П.И., Царева, Л.А. Искусственное облучение растений. – Москва: Пушино, 1982. – 40 с.

3. ДНаТ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/406663/> – Дата доступа: 07.03.2020.

4. Тихомиров, А. А., Золотухин, И. Г., Лисовский, Г. М., Сидько, Ф. Я. Специфика реакций растений разных видов на спектральный состав ФАР при искусственном освещении // Физиология растений, 1987. – Т. 34. – С. 774-785.