

УДК 628.9

DOI 10.52167/1609-1817-2023-125-2-453-467

С.К. Шеръязов¹, Н.И. Омирова², А.Ш. Омархан²,
А.Б. Базарбек², К.М. Тынышбаева²

¹Южно-Уральский государственный аграрный университет, Троицк, Ресей

²Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
E-mail: asyl.bazarbek.92@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ СВЕТОДИОДНЫХ ОБЛУЧАТЕЛЕЙ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ ТЕПЛИЧНЫХ РАСТЕНИЙ

Аннотация. В статье представлены результаты моделирования и расчета высоконаправленной оптимальной кривой интенсивности света. Авторы показали эффективность использования рассчитанного кривой интенсивности света для освещения тепличных растений. Был рекомендован способ размещения светильников с кривой интенсивности света в типичной теплице, спектры и потоки солнечной радиации. Принципы дополнительного освещения регулируют варианты исходя из времени года, времени суток либо климатических условий. Светодиодный осветитель для теплиц с научно обоснованным спектром излучения, универсальностью и способностью адаптироваться к изменяющимся внешним условиям.

В работе обоснован принцип разработки системы наблюдения адаптивных светодиодных облучательных оборудований для теплиц. Для определения необходимых качественных и количественных характеристик, свойств и параметров досветки и доли излучения из разных участков спектра источников, установлены пределы регулирования электрических параметров светодиодов в зависимости времени года и погодных условий. В работе приведены анализы основных фотохимических процессов, динамики потока и спектральной структуры фотосинтетической активной радиации, в основе этого алгоритма должны лежать два главных фактора: динамика спектрального состава солнечной радиации и динамика плотности потока солнечной радиации и экономический анализ применения системы наблюдения.

Ключевые слова. Тепличные растения, источники света, досвечивание, LED-облучатели, установка облучения, светодиод, спектр излучения, солнечная радиация, управление досвечиванием.

Введение.

В теплицах необходимо создавать условия для развития растений в любое время года не зависимо от места ее расположения. Постоянно растущие потребности производства сельскохозяйственной продукции и необходимость повышения производительности процесса выращивания тепличных растений требуют внедрения новых технологий, в том числе для дополнительного освещения растений [1,2].

В свое время были проведены эксперименты по изучению интенсивности фотосинтеза растений и на стадии развития 2 – 4 листьев были получены диаграммы, на которых ясно видно резкое снижение фотосинтеза, уже после нескольких часов интенсивного досвечивания [3,4]. При этом растение интенсивно дышит и расходует накопленные питательные вещества. Следовательно, необходимо найти правильный режим досвечивания и оптимизировать его, используя более современные облучатели, позволяющие управлять процессом.

На сегодняшний день самым важным источником света теплиц все еще остается натриевые лампы, ограничивающие управление процессом досвечивания, хотя они возможны. При этом в теплицах досвечивание растений осуществляется в течение 20 часов, что оказалось, не совсем экономически оправданным [5,6].

В последнее время появилась тенденция применения более экономичных и современных источников света, технология изготовления которых совершенствуется, а производство дешевеет с каждым годом. Это LED -облучатели, состоящие из определенного количества светодиодных элементов [7,8].

LED -облучатели теперь появились в промышленных теплицах, где преобразовывают электроэнергию не в тепло, а в конкретный спектр излучения, где нужен растениям в первую очередь. Это стало возможным после разработки мощных светодиодов, позволяющие проектировать установки облучения (УО) с различными спектрами излучения и обеспечивать контроль параметров облучения.

Многие исследователи отмечают преимущества светодиодного LED облучения, и производители интенсивно работают над созданием специальных светодиодов и облучателей для тепличных хозяйств [9,10]. Основные принципы энергоэффективного УО для теплиц описаны в [11].

Эксперименты с LED -облучателями до сих пор находятся на начальном этапе, и пока небольшое количество стран прошли через этап первичных исследований. Традиционные долгоживущие тепличные овощные растения со сроком вегетации до 10-12 месяцев все еще недостаточно изучены и в разных литературных источниках данные по этому вопросу встречаются редко [12,13].

Целью досвечивания растений является получение стебля растения правильной геометрии, в процессе его выращивания. Во время выращивания тепличных растений необходимо управлять процессом досвечивания и в то же время работа по облучению подразумевает досвечивание растений заданным спектром и мощностью излучения [14].

В данной статье представлены результаты, которые позволяют более конкретно определить требования к параметрам, конструкции и спектру излучения универсального адаптивного облучателя для дополнительного освещения различных видов растений, выращиваемых в теплицах.

Таким образом, появляется необходимость управлять параметрами излучения по заданному алгоритму в ходе досвечивания тепличных растений, где необходимо создать математическую модель, которая связывает параметры и характеристики излучения с показателями роста растений.

Математические модели можно и нужно применять для управления технологическими процессами. Эта особенность автоматических систем управления позволяет правильно соотнести потребляемые ресурсы для получения качественной продукции.

При облучении тепличных растений необходимо учитывать вклад естественного освещения за счет солнечной энергии. Тогда LED облучение должен быть адаптивным к сезонным, ежедневным, ежечасным и постоянным изменениям параметров солнечной радиации, а также к изменениям количества и качества излучения, необходимого для развития растений.

На данный момент отсутствуют некие рекомендации по досвечиванию тепличных растений, выполнение которых помогла бы выращивать здоровые растения при оптимальном фотосинтезе с минимальными затратами на электрическую энергию [15]. В этом случае актуальным является исследование влияния спектров излучения на жизнедеятельность растений, и усвоить управление ими в целях минимизации экономических затрат для производства тепличной продукции.

Материалы и методы.

Управление интенсивностью излучения создает необходимую возможность в разработке компьютерного алгоритма для оптимального режима досветки, в то же время открывает большие перспективы для снижения энергозатрат и улучшения продуктивности

тепличных хозяйств без изменения качества продукции. В настоящее время используется более простой алгоритм управления фитопотоками – организация обратной связи между естественным (солнечным) освещением и уровнем досветки [16].

Главная проблема заключается в выборе основного параметра для управления. Система обратной связи в адаптивной облучательной установке возможно построена на основе измерений спектров солнечной радиацией (СР) и потоков или одного из данных параметров. Для разработки системы управления рассчитанным спектром и общим потоком должна быть система наблюдения за поступающей солнечной радиацией.

За последнее время исходя из литературных источников и проведенных исследований были анализированы динамики потока фотосинтетической активной СР и спектрального состава фотосинтетической активной СР. Для получения информации о спектрах солнечного излучения есть возможность использования «онлайн калькулятора» СР [17] или данными измерений оптоволоконным спектрометром AvaSpec- 2048, в нашем случае в условиях Акмолинской области Республики Казахстан.

На рисунках 1 и 2 приведены данные поступления прямой солнечной радиации, полученные входе измерения спектров излучения и потоков фотосинтетической активной радиации (ФАР) в условиях Акмолинской области РК. Для сравнения, на графике приводится необходимая радиация при облучении огурцов. Необходимые для растений длительность (14 часов) и плотность потока фотосинтетической активной радиации (50 Вт/м^2) были взяты согласно рекомендациям аграриев [18].

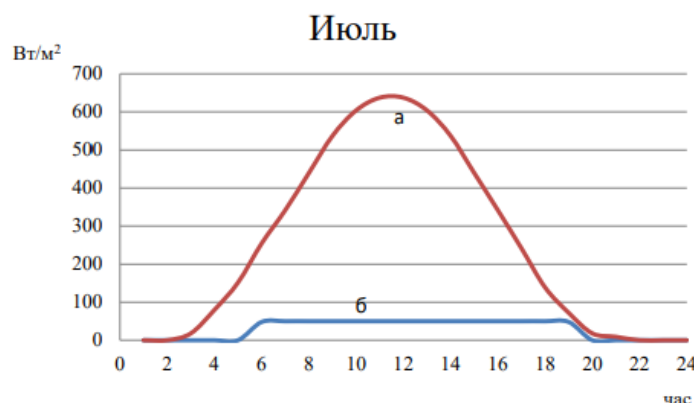


Рисунок 1 – Динамика прямой СР (Вт/м^2) на горизонтальную поверхность при ясном небе и динамика требуемого уровня облучения огурца в июле:
а) прямая СР; б) требуемая радиация в пределах ФАР

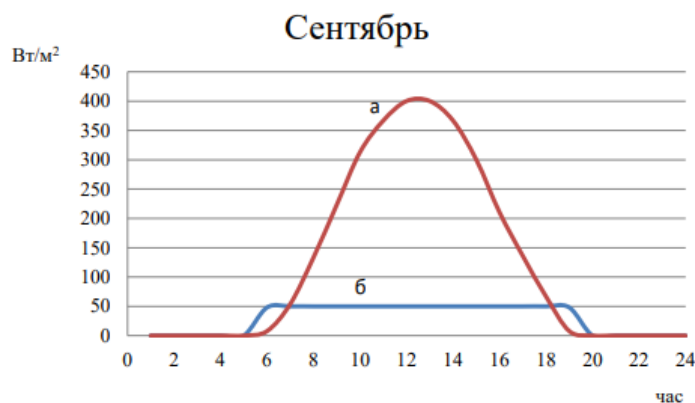


Рисунок 2 – Динамика СР (Вт/м^2) на горизонтальную поверхность при ясном небе и динамика требуемого уровня облучения огурца в сентябре:
а) прямая СР; б) требуемая радиация в пределах ФАР

Анализ данных показывает, что уровень поступающей солнечной радиации летом и осенью в целом достаточны для облучения огурцов. Осенью в утренние и вечерние часы, из-за недостатка солнечной радиации, возможно, потребуется досветка.

В соответствии климатических условий, определенные значения плотности потока солнечной радиации могут резко изменяться. Характер и глубину таких изменений демонстрируют данные рисунков 3 и 4. Эти изменения обусловлены преимущественно изменением погодных условий (облачность, дождь).

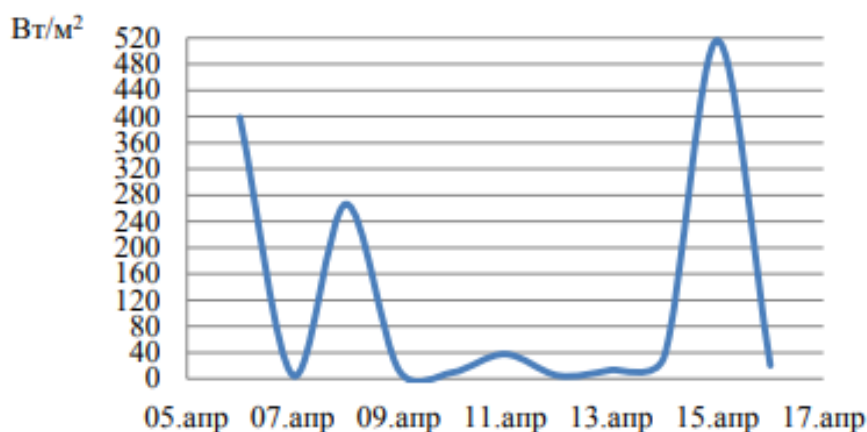


Рисунок 3 – Динамика активности солнечной радиации в зоне фотосинтетической активной радиации, в 13 часов в апреле

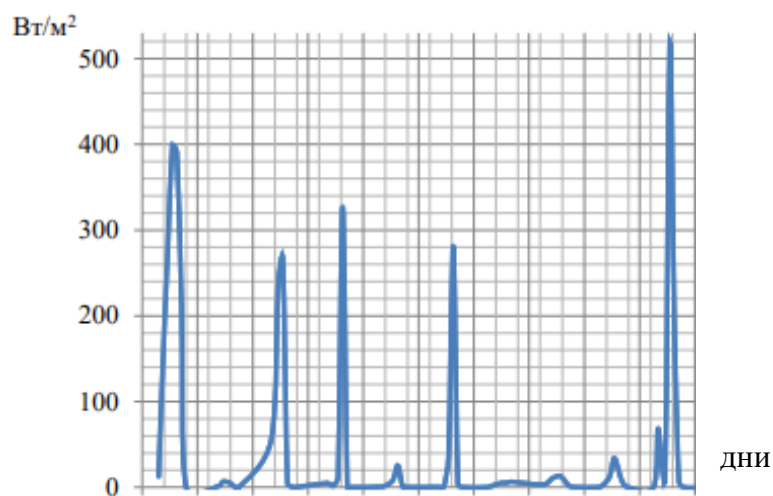


Рисунок 4 – Динамика активности солнечной радиации в зоне фотосинтетической активной радиации в течение апреля

Анализ данных, приведенных на рис. 3 и 4 показывает, что спектры излучения солнца, измеренные в различное время суток апреля, в диапазоне длин волн ФАР о существующей в природе тенденции. Так, спектральный состав солнечной радиации в области ФАР зависит как от погодных условий, так и от времени суток.

Незначительное отличие наблюдается в спектрах солнечной радиации, измеренных утром, днем и вечером. Безусловно [19] эти различия связаны с поглощением и рассеянием излучения при его прохождении через слои атмосферы. Поскольку длины путей солнечных лучей в атмосфере утром (вечером) и днем сильно отличаются, то это приводит к существенным изменениям в спектре солнечной радиации на поверхности Земли [20].

Анализ приведенных данных показывает, что с изменением величины потока излучения изменяются его спектры. Это значит можно управлять фотохимическими процессами в растении за счет изменения потока излучения. Тогда это может являться задачей адаптивных ОУ. Так, например, спектр г) на рис 5 позволяет понять - как работают фитохромы Φ_{680} и Φ_{720} ? Действие фитохромов описано в [21].

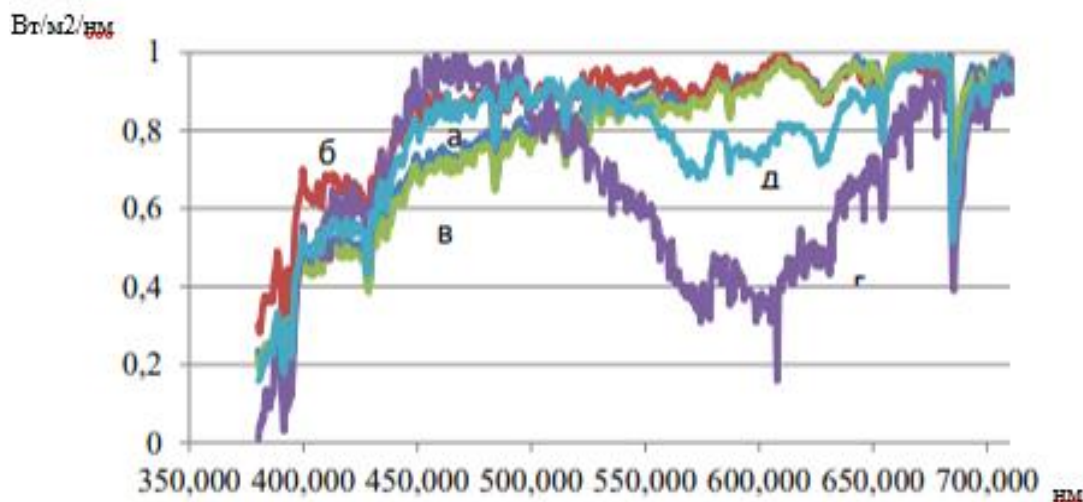


Рисунок 5 – Нормированные спектры прямой СР
в разное время суток и при разных климатических условиях:
а) ясная погода; б) облачность; в) малая облачность; г) закат; д) восход

Днем преобладает в спектре СР ближний красный свет и фитохром Φ_{680} включает в растении процессы, связанные с фотосинтезом. Поскольку вечером значительно уменьшается доля излучения в области спектра от 500 нм до 660 нм (рисунок 5), то оказывается, что становится преобладающий дальний красный свет, который выключает процессы фотосинтеза и включает темновые процессы в растении. По-видимому, эффекты от действия фитохромов также нужно учитывать при создании систем адаптивной досветки растений [20].

Результаты и обсуждение.

Установлено, что в процессе роста растения адаптируются к качеству и потоку света, при котором они формируются. При этом мощность и спектр излучения могут меняться в процессе развития растения. Тогда для досвечивания растений, в условиях изменения солнечного излучения, требуются источники света с изменяющимися параметрами излучения.

Для досвечивания растений широкое применение находят светодиодные LED облучатели, которые позволяют регулировать потоки и спектры излучения в широком диапазоне и без существенных колебаний электрических параметров источников света. Для правильного развития растений требуется облучение, хорошо сбалансированное по спектру и потоку в диапазоне 380-750 нм.

Таким образом, облучатель для дополнительного освещения растений должен обеспечивать требуемый эталонный спектр излучения и возможность его изменения. Конструкция облучателя должна быть удобной для его установки и эксплуатации, а также обеспечивать допустимые потоки и их равномерное распределение по площади (объему) облучаемых растений.

УО должен быть адаптивным к сезонным, ежедневным, ежечасным и постоянным изменениям параметров солнечной радиации, а также к изменениям количества и качества

излучения, необходимого для развития растений. Тогда основной задачей при проектировании адаптивного светодиодного УО является выбор эталонного спектра излучения путем выбора светодиодов, излучающих в разных спектральных областях.

Выбор спектра излучения обычно связан со спектром действия фотосинтеза в растениях [17]. Н.Н. Протасова, автор наиболее часто упоминаемого исследования [22], определила "оптимальное" соотношение яркости (Вт/м²) для растений в диапазоне длин волн (нм): 400-500/500-600/600-700 равный 30/20/50, соответственно. Эталонный спектр может быть изменен изменением тока светодиода.

В работе [12], оптимальное и переменное соотношение в спектре излучения светодиодного модуля возможно создано из разных комбинаций по цвету светодиодов. Для фотосинтеза и фотоморфогенеза, оптимальным и универсальным облучателем значится трехцветная версия: белый (теплый цвет), синий ($\lambda_p=420-465$ нм) и красный ($\lambda_p=660$ нм). Три типа светодиодов позволяют изменять общий поток, и одновременно их можно использовать для создания любой комбинации спектра.

Белый светодиод является основой для создания эталонного спектра. Он охватывает широкий спектральный диапазон и может обеспечить возбуждение всех пигментов, вызывающих фотохимические процессы в растениях, в том числе фоторегулирующий. Последний требует значительно меньше световой энергии по сравнению с фотосинтезом. Для этой цели наиболее подходит светодиод Nichia NS3W183TS, обладающий самым широким спектральным диапазоном (420-750 нм).

Для энергоемкого фотосинтеза и контроля фотохимических процессов в растении белый светодиод следует смешивать с синими и красными светодиодами. Для этой цели подходит синий светодиод Nichia NCSB119T, а PHILIPS LED LXM3-PD01 можно использовать для красной области спектра.

Соотношение, полученное Н.Н. Протасовой, можно принять в качестве критерия для выбора количества белых, синих и красных светодиодов в облучателе. Для выбора светодиодов можно воспользоваться известной программой SPECTRA [23].

В ходе исследования установлено, что два белых светодиода, мощностью 1 Вт, один синий светодиод (1 Вт) и один красный светодиод мощностью 3 Вт могут обеспечить соотношение потоков в синей / зеленой / красной областях общего спектра, равное 26/15/59, что близко к целевому соотношению потоков, равному 30/20/50. Спектр излучения облучателя с данным соотношением потоков представлен на рисунке 6.

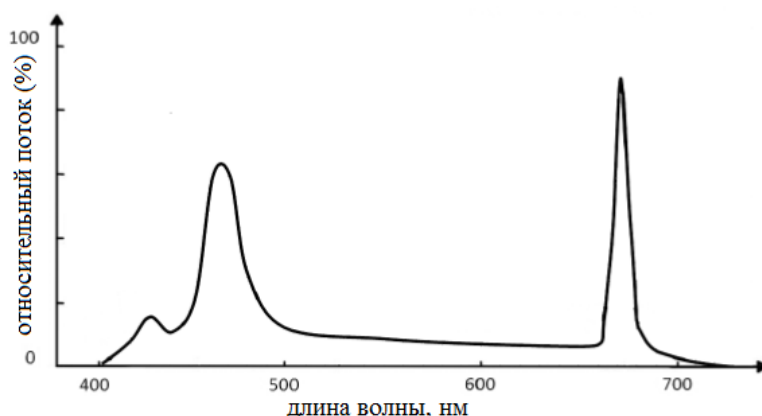


Рисунок 6 - Спектр излучения комбинации теплых белых и синих светодиодов Nichia и красного светодиода Philips

После выбора светодиодного LED облучателя важной задачей является разработка оптимальной конструкции излучателя и оптимальной кривой интенсивности света. При

этом основное назначение предлагаемого облучателя возможность дополнительного освещения высокорослых растений в промышленных теплицах.

1. Принципы расположения светодиодных источников для досвечивания растений.

Светодиодные источники позволяют создавать облучатели практически любой формы и мощности. При этом размеры облучателя должны обеспечивать наименьший коэффициент затенения, поскольку высокорослые растения (огурцы, помидоры) в теплице высаживаются в длинный ряд на расстоянии одного метра друг от друга, желательно сделать приспособление длиной 1-1,5 метра с приблизительным поперечным сечением $0,05 \times 0,1$ м² и разместить его вдоль рядов растений. Фирма PHILIPS производит облучатели такого размера [9].

Для расположения облучателей в теплице необходимо определить преобладающее направление потока, падающего на высокие растения. Анализ существующих схем расположения светильников на высоте 4-6 метров (типичная теплица) над рядами растений показал необходимость бокового освещения растения. Такое освещение может быть организовано для обеспечения достаточно равномерного облучения всех листьев вдоль стебля. Выбранная схема экспозиции и расположения осветительных приборов показана на рисунке 7 (а).

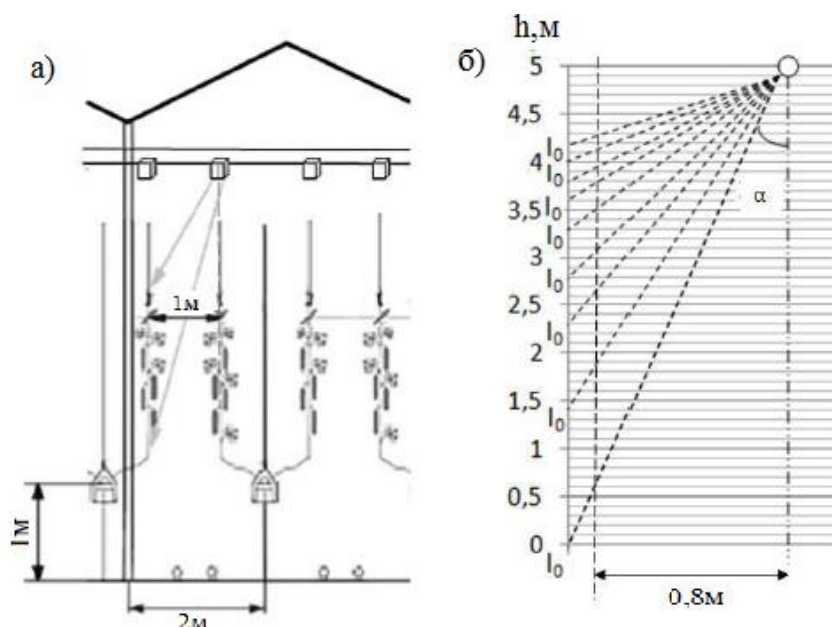


Рисунок 7 - Расположение установок и направление падающих лучей (а), кривая интенсивности света для светодиодного облучателя (б)

Для близко посаженных низкорослых растений УО можно расположить в виде плоской горизонтальной пластины [24]. Расположение УО для высоких растений высотой в несколько метров является более сложным.

Достаточно правильным расположением светильников является равномерное освещение области, расположенной перпендикулярно направлению распространения лучей, падающих на установку под разными углами вдоль ее оси (рисунок 7). Это расположение похоже на расположение листьев растений.

В ходе исследование рассмотрены формирования кривой интенсивности света. Интенсивность излучения в области, перпендикулярной направлению распространения луча I_0 (рисунок 7, б.), пропорциональна I_2 - расстоянию от источника до точки падения луча в вертикальной плоскости вдоль растения. На основании этого установлены целевые значения начальных интенсивностей I_{01} для лучей, испускаемые точечным

источником под разными углами с постоянным значением I_0 в любой точке расчетной вертикальной плоскости. В ходе исследования вертикальную плоскость разместили на расстоянии 0,2 м от стебля растения, т.е. 0,8 м от источника света.

Полученные результаты использованы для построения LIC в виде зависимости $I_{01}=f(\alpha)$, где α – угол между вертикальной плоскостью и направлением лучей (рисунок 8). Для анализа распределения облученности известных и разрабатываемых для теплиц светильников (облучателей) в работе использовались средства компьютерного моделирования процессов освещения в теплице, анализировалось светораспределение известных и искомых параметров фотометрических тел светильников. Этап компьютерного моделирования осуществлялся с помощью программы DIALux и вспомогательных инструментов – приложений IESGen, Microsoft Windows Notepad.

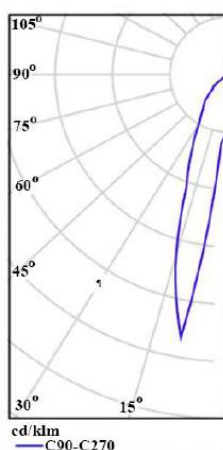
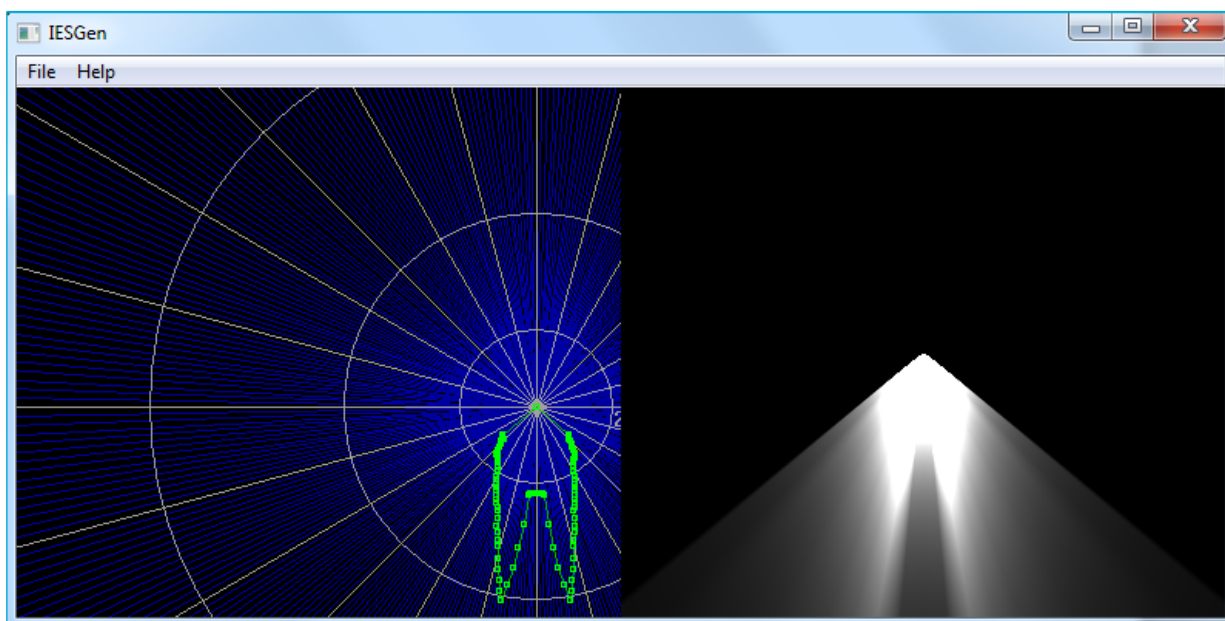


Рисунок 8 - Кривой интенсивности света облучателя в формате IES для точечного источника света

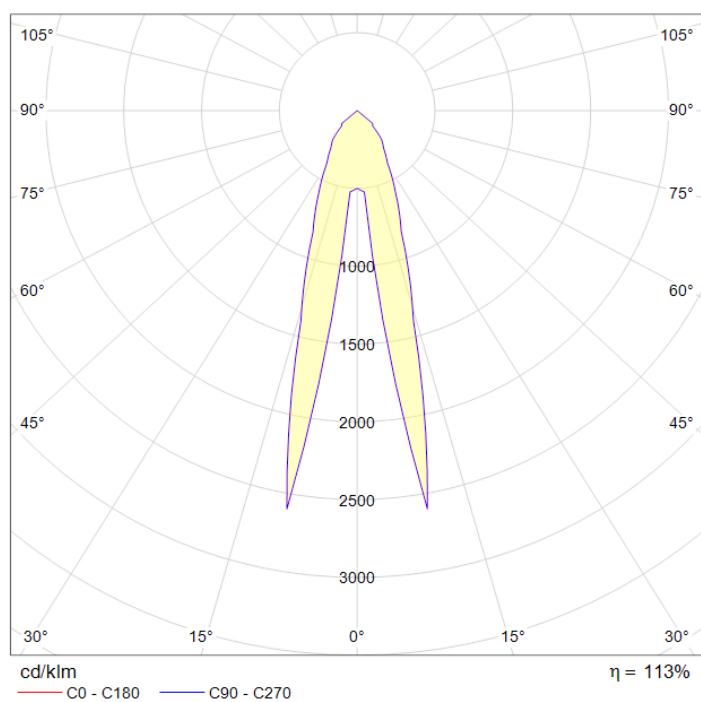
Формирование IES - файла. Для проверки возможности анализа облученностей растений от облучателей с рассчитанной кривой интенсивности света (КСИ) и с описанным выше расположением облучателей в теплице по данным таблицы 1 был сформирован IES – файл (рисунок 9). Этот файл переносится в программу DIALux для визуализации объекта (математическая модель светодиодного модуля).

Таблица 1– Расчетные данные КСИ

Градусов	I_0 , Вт/м ²	h, м	b, м	$r_s = \sqrt{h^2 + b^2}$, м	$I_{0s} = I_0 \times r^2$
0°	1	-2	1	$\sqrt{5} = 2,23$	5
5°	1	-2,06	1	$\sqrt{5,25} = 2,29$	5,25
10°	1	5	1	$\sqrt{26} = 5,1$	26
15°	1	3,6	1	$\sqrt{13,96} = 3,74$	13,96
20°	1	2,7	1	$\sqrt{8,29} = 2,88$	8,29
25°	1	2,2	1	$\sqrt{5,84} = 2,42$	5,84
30°	1	1,7	1	$\sqrt{3,89} = 1,97$	3,89
35°	1	1,4	1	$\sqrt{2,96} = 1,72$	2,96
40°	1	1,2	1	$\sqrt{2,44} = 1,56$	2,44
45°	1	1	1	$\sqrt{2} = 1,41$	1,41
50°	1	0,8	1	$\sqrt{1,64} = 1,28$	1,28



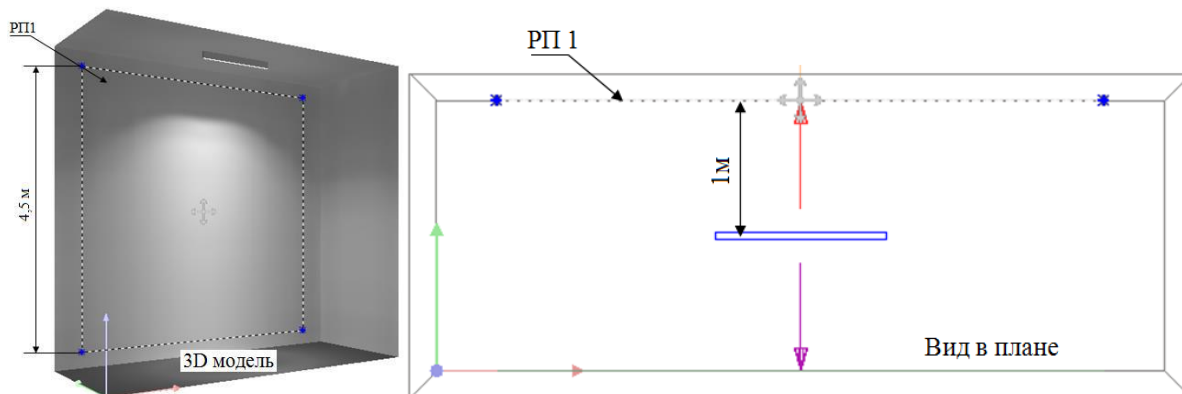
а)



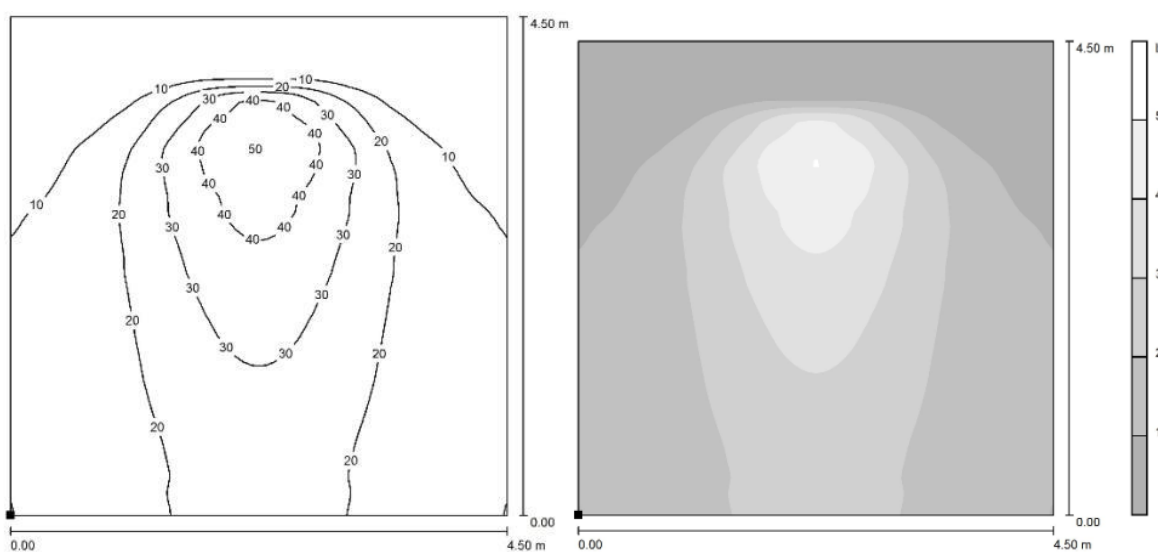
б)

Рисунок 9– Демонстрация результата обработки данных:
а) визуализация заданной формы светораспределения (по таблице 1);
б) результаты исследования IES формата по программе DIALux

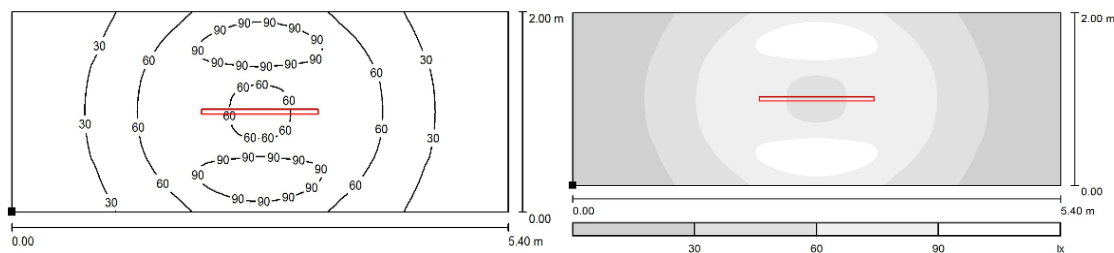
В программе DIALux производились исследования параметров освещенности на рабочей поверхности. В качестве такой поверхности выбрана вертикальная плоскость на расстоянии 1 м от центра светильника. Результаты исследования приведены на рисунке 10. В ходе исследования определено распределение яркости для разных плоскостей модельного тепличного сооружения с помощью лампы расчетной кривой интенсивности света.



а)



б)



в)

- а) 3D - модель объекта, вид в плане и расположение расчетной поверхности РП1;
- б) Изолинии и градации серого при распределении освещенности по вертикали для РП1;
- в) Изолинии и градации серого, как результат распределения горизонтальной освещенности (высота рабочей плоскости 0,85 м).

Рисунок 10 – Модель объекта и расчетные данные освещенности светодиодного светильника в вертикальной плоскости (на высоте 4,5 метра)

Значения КСИ дает возможность использовать облучатель в любых теплицах для фермерских и других частных хозяйств. В качестве примера на рисунке 11. Показано расположение светильника и схема облучения в одной из таких теплиц.

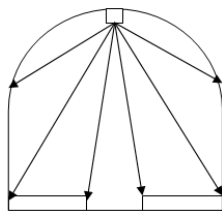


Рисунок 11 – Схема облучения растений в теплице для «мичуринцев».

Конструкция облучателя. Для изготовления опытных образцов облучателя с рассчитанной КСИ, предлагается следующая конструкция, показанная на рисунке 12. Облучатель состоит из двух частей (половинок), изготовленных из алюминия. Светодиоды располагаются на плоскостях, расположенных под углом 60° после соединения половинок. Требуемая КСИ формируется с помощью отражателей, которые крепятся к корпусу облучателя в месте соединения половинок. Требуемый профиль половинок облучателя легко может быть легко изготовлен штамповкой из листового алюминия. Это существенно уменьшит затраты на его изготовление.

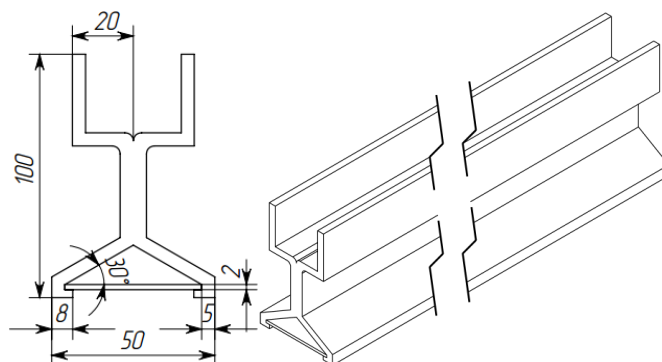


Рисунок 12 – Эскизный чертеж облучателя

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы.

1. Оптимальным вариантом эталонного спектра для адаптивного облучателя является трехцветный облучатель с белым Светодиодом, излучающий в широком спектральном диапазоне (400-750 нм). Энергоэффективный двухцветный облучатель может быть сконструирован на основе красных и белых светодиодов с увеличенной синей составляющей в спектре излучения.

2. Оптимальный облучатель для высоких растений должен иметь точечную схему распределения света. Чтобы рассчитать стандартизация освещенности для теплиц с высокими растениями, необходимо разработать модель растений с учетом учитывайте геометрию расположения листьев вдоль стебля. Облучатели с рассчитанной кривой интенсивности света могут равномерно облучать как высокорослые, так и низкорослые растения, поэтому их можно использовать для выращивания всех видов растений в теплицах различных типов.

Заключение.

Для повышения эффективности выращивания тепличных растений требуется досвечивание для поддержания их роста. При этом, для повышения урожайности продуктивности тепличных растений и снижения энергозатрат на их досветку, требуется создание адаптивных систем досветки.

Адаптивные системы досветки предполагают поддержание процесса фотосинтеза с учетом уже имеющихся облучений в естественных условиях, за счет поступающего

солнечного излучения. Большие возможности в регулировании потока излучения по мощности и различного спектра появились с разработкой и использованием светодиодных облучательных установок.

Основная задача создания адаптивной облучательной установки состоит в том, чтобы правильно организовать обратную связь. Обратная связь может быть создана на основе анализа состояния окружающей среды и времени суток.

В статье рассматривается система облучения, которая должна адаптироваться к изменениям плотности потока солнечной радиации и к изменению его спектрального состава в течение всего времени роста и развития (периода вегетации) растения. То есть в течении периода вегетации спектр должен быть сбалансирован не только по потоку, но и по спектральному составу. Таким образом, все изменения, как правило, уменьшение солнечного излучения должна компенсироваться искусственной досветкой.

Согласно нашим исследованиям, есть возможность уточнения функциональных требований к отдельным элементам адаптивной светодиодной системы досветки растений в теплицах и внести изменения в алгоритме управления количеством и качеством излучения.

Анализ основных фотохимических процессов в растениях показывает, что для правильного развития растений важно, чтобы они получали хорошо сбалансированный по спектру и интенсивности свет. В этих условиях управление процессами фотосинтеза и фотоморфогенеза - наиболее результативное решение воздействия на продуктивность, рост и урожайность растений. Для фоторегулирования нужны источники (облучатели) с управляемыми потоками и спектрами.

Важно обоснование и выбор светодиодов для создания исходного спектра излучения адаптивного облучателя для теплиц. Для достижения известного оптимального соотношения потоков в различных областях спектра: синяя/зеленая/красная = 30%, 20%, 50% и установлено, что:

- оптимальным вариантом для создания адаптивного облучателя для теплиц является использование трехцветного светодиода с использованием белого и синего светодиодов фирмы Nichia;

- экономичный оптимальный двухцветный облучатель может быть разработан на основе применения специального белого светодиода с увеличенной синей составляющей в спектре излучения.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Sheryazov S.K., Popova S.A. 2021. Light and Temperature Control for Greenhouse Plant Growth. *Inzhenernyyetekhnologiiisistemy = Engineering Technologies and Systems*. 31(1): 8-20. DOI: 10.15507/2658-4123.031.202101.008-020.

[2] S K Sheriazov, S A Popova and I I Karimov. 2019. The control of lighting up regime of greenhouse plants with LED irradiators. *Materials Science and Engineering, Volume 791, IV International Scientific and Technical Conference "Energy Systems". IOP Conference Series, Belgorod, Russia*. DOI:10.1088/1757-899X/791/1/012074.

[3] Попова С.А. Обоснование прерывистого досвечивания тепличных растений СД-облучателями // ВестникИрГСХА, Выпуск 80/2, Иркутск 2017. С.118-125.

[4] Попова С. А. Применение импульсного досвечивания тепличных растений СД-облучателями // Материалы международной научно-практической конференции «Энергетика – агропромышленному комплексу России» / Челябинск 2017. С.147-156.

[5] Кононенко А. Н. Влияние различных источников света на развитие мини-растений картофеля в условиях светокультуры // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета, 2016. № 45. С 50–56.

- [6] Гужов С., Полищук А., Туркин А. Концепция применения светильников со светодиодами совместно с традиционными источниками света // Современные технологии автоматизации. – 2008. – № 1. – С. 14–18.
- [7] Hogewoning S.W., Trouwborst G., Engbers G.J., Harbinson J., van Ieperen W., Ruijsch J., van Kooten O. Plant Physiological Acclimation to Irradiation by Light-Emitting Diodes (LEDs) // Acta Hort. (ISHS). 2007. V. 761. pp. 183-192.
- [8] T.A. Dueck, J. Janse, B.A. Eveleens, F.L.K. Kempkes, L.F.M. Marcelis / Growth of tomatoes under hybrid LED and HPS lighting systems // Acta Hort., 952 (2012), pp. 335-342.
- [9] Каталог Philips: www.philips.com/horti.
- [10] Каталог Osram: http://www.osram.ru/osram_ru.
- [11] Корепанов В. И., Козырева И. Н. Методы создания адаптивных энергосберегающих установок облучения для теплиц. Российский физический журнал. 2014. № 57 (9/3). С. 89-93.
- [12] Hogewoning S.W., Trouwborst G., Maljaars H. et al. Blue light dose-responses of leaf photosynthesis, morphology, and chemical composition of Cucumis sativus grown under different combinations of red and blue light // J. Exp. Bot. – 2010. – V. 61. – pp. 3107–3117.
- [13] Poudel P.R., Kataoka I., Mochioka R. Effect of red- and blue-light-emitting diodes on growth and morphogenesis of grapes // Plant Cell Tiss Organ Cult. 2008. V. 92. pp. 147-153.
- [14] Hirai T., Amaki W., Watanabe H. Action of blue or red monochromatic light on stem internodal growth depends on plant species // Acta Hort. (ISHS). 2006. V. 711. pp. 345-350.
- [15] Воскресенская Н.П. Фотосинтез и спектральный состав света. – М.: Наука, – 1965. 311 с
- [16] Клешнин А.Ф. Свет и растение. – М.: Издательство Академии наук СССР. – 1954. – 456 с
- [17] Савиных, Виктор Петрович. Оптико-электронные системы дистанционного зондирования: учебник / В. П. Савиных, В. А. Соломатин. —Москва: Машиностроение, 2014. — 431 с.
- [18] Корепанов, В. И. Оморова Н.И., Омархан А. Ш. Светодиодный облучатель для теплиц = Led irradiator for greenhouses. Материалы и технологии новых поколений в современном материаловедении сборник трудов Международной конференции, г. Томск, 2016. С. 372-377.
- [19] Физиология растений: Учебник для студ вузов / Н. Д. Алехина, Ю. В. Балнокин, В. Ф. Гавриленко и др. / Под ред. И. П. Ермакова. - М.: Издательский центр "Академия", 2005. - 640 с
- [20] Протасова Н.Н. Фотокультура как способ выявления потенциальной продуктивности растений. Физиология №34 (4). 1987. С. 812-822
- [21] Симулятор спектра: www.spectra.1023world.net.
- [22] Косицын О.А. Математическое моделирование пространственных характеристик детекторов биологического излучения. Светотехника, № 6. 1978. С. 15-16.

Сакен Шерьязов, т.ғ.д., профессор, Оңтүстік Орал мемлекеттік аграрлық университеті, Троицк, РФ, sakenu@yandex.ru

Назгул Оморова, магистр, аға оқытушы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, nazgul_omirova@mail.ru

Айтолқын Омархан, магистр, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, moon_wave_93@mail.ru

Асыл-Дастан Базарбек, PhD, аға оқытушы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, asyl.bazarbek.92@mail.ru

Қымбат Тынышпаева, магистр, аға оқытушы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, tinishbaeva.kimbat@mail.ru

ЖЫЛЫЖАЙ ӨСІМДІКТЕРІН ӨСІРУГЕ АРНАЛҒАН ЭНЕРГИЯНЫ ҮНЕМДЕЙТІН ЖАРЫҚДИОДТЫ СӘУЛЕЛЕНДІРГІШТЕРДІ ЗЕРТТЕУ

Андатпа. Мақалада жарық қарқындылығының жоғары бағытталған оңтайлы қисығын модельдеу және есептеу нәтижелері келтірілген. Авторлар жылыжай өсімдіктерін жарықтандыру үшін есептелген жарық қарқындылығы қисығын пайдаланудың тиімділігін көрсетті. Әдеттегі жылыжайда жарық қарқындылығы қисығы бар шамдарды, спектрлерді және күн радиациясының ағындарын орналастыру әдісі ұсынылды. Қосымша жарықтандыру принциптері опцияларды жыл мезгіліне, тәулік уақытына немесе климаттық жағдайларға байланысты реттейді. Ғылыми негізделген сәулелену спектрі, әмбебаптығы және өзгеретін сыртқы жағдайларға бейімделу қабілеті бар жарықдиодты жылыжай жарықтандырғышы.

Жұмыста жылыжайларға арналған адаптивті жарықдиодты сәулелендіру жабдықтарын бақылау жүйесін әзірлеу принципі негізделген. Көздер спектрінің әртүрлі учаскелерінен жарықтандырудың және сәулелену үлесінің қажетті сапалық және сандық сипаттамаларын, қасиеттері мен параметрлерін анықтау үшін жарық диодтарының электр параметрлерін жыл мезгіліне және ауа-райына байланысты реттеу шектері белгіленді. Жұмыста фотосинтетикалық белсенді радиацияның негізгі фотохимиялық процестерінің, ағын динамикасының және спектрлік құрылымының талдаулары келтірілген, бұл алгоритмнің негізінде екі негізгі фактор болуы керек: Күн радиациясының спектрлік құрамының динамикасы және күн радиациясының ағынының тығыздығының динамикасы және бақылау жүйесін қолданудың экономикалық талдауы.

Түйінді сөздер. Жылыжай өсімдіктері, жарық көздері, қосымша жарықтандыру, жарықдиодты сәулелендіргіштер, сәулелену қондырғысы, жарық диоды, сәулелену спектрі, күн радиациясы, жарықтандыруды басқару.

Saken Sheryazov, doctor of technical sciences, professor, South Ural State Agrarian University, Troitsk, Russia, sakenu@yandex.ru

Nazgul Omirova, master, senior lecturer, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, nazgul_omirova@mail.ru

Aitolkyn Omarkhan, master, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, moon_wave_93@mail.ru

Assyl-Dastan Bazarbek, PhD, senior lecturer, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, asyl.bazarbek.92@mail.ru

Kymbat Tynyshbaeva, master, senior lecturer, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, tinishbaeva.kimbat@mail.ru

RESEARCH OF ENERGY-EFFICIENT LED IRRADIATORS FOR GROWING GREENHOUSE PLANTS

Abstract. The article presents the results of modeling and calculation of a highly directional optimal light intensity curve. The authors have shown the effectiveness of using the calculated light intensity curve to illuminate greenhouse plants. A method of placing luminaires

with a light intensity curve in a typical greenhouse, spectra and solar radiation fluxes was recommended. The principles of additional lighting regulate the options based on the time of year, time of day or climatic conditions. LED illuminator for greenhouses with a scientifically based radiation spectrum, versatility and the ability to adapt to changing external conditions.

The article substantiates the principle of developing a monitoring system for adaptive LED irradiation equipment for greenhouses. To determine the necessary qualitative and quantitative characteristics, properties and parameters of the illumination and the proportion of radiation from different parts of the spectrum of sources, the limits of regulation of the electrical parameters of LEDs depending on the time of year and weather conditions are established. The article presents analyses of the main photochemical processes, flow dynamics and spectral structure of photosynthetic active radiation, this algorithm should be based on two main factors: the dynamics of the spectral composition of solar radiation and the dynamics of the solar radiation flux density and an economic analysis of the application of the observation system.

Keywords. Greenhouse plants, light sources, additional illumination, LED irradiators, irradiation installation, LED, radiation spectrum, solar radiation, control of additional illumination.
