disk. Hence, the recommended feed zone to the disk is 0,04...0,08 m. It has been established that at an impact speed above 13 m/s, an elastic impact of the seed occurs, and the reflection angle is 45 degrees or more. At lower values of the impact speed, the angle of reflection of the seed from the abrasive sur-

© Хасанов Э.Р., Каримов Х.Т., Маскулов Д.И.

face is less than 45 degrees; that is, the seed under the Coriolis force's action is pressed, slides, gets a scratch, and comes off the abrasive surface. It makes it possible to simulate two variants of scarification: when hitting an abrasive surface and when sliding on it.

УДК 628.987

DOI: 10.31563/1684-7628-2020-56-4-144-150

С.К. Шерязов, И.И. Каримов, С.А. Попова, Г.Р. Каримова

УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМОМ ДОСВЕЧИВАНИЯ ТЕПЛИЧНЫХ РАСТЕНИЙ

Ключевые слова: тепличные растения; досвечивание; LED-облучатели; спектр излучения; геометрия стебля; управление досвечиванием.

Введение. Для тепличных растений важно поддерживать необходимый процесс фотосинтеза, и в условиях недостаточного солнечного излучения требуется досвечивание. Основным источником досвечивания в современных теплицах пока остаются натриевые лампы, которые ограничивают управление процессом досвечивания [1, 2]. В теплицах осуществляют досвечивание растений на протяжении 20 часов, что оказалось не совсем оправданным с точки зрения биологического процесса и экономики. Так, эксперименты по изучению роста растений огурца показали резкое снижение процесса фотосинтеза после нескольких часов интенсивного досвечивания [3, 4]. Следовательно, требуется обоснование режима досвечивания и оптимизация параметров используемых современных облучателей, позволяющих управлять процессом. В настоящее время наметилась тенденция использования более современных и экономичных источников света LED (светодиодных)-облучателей. Они уже пришли в промышленные теплицы и преобразуют электроэнергию в определенный спектр излучения – тот, который нужен растениям больше всего [5, 6]. Однако эксперименты с LED-облучателями пока находятся на начальном этапе, и пока незначительное количество культур прошли через стадию первичных исследований. Традиционные тепличные овощные растения со сроком вегетации до 10–12 месяцев в этом плане пока еще мало изучены и в литературных источниках информация по этому вопросу появляется очень редко [7, 8, 9].

В процессе выращивания тепличных растений важно управлять процессом досвечивания. Процесс облучения предполагает досвечивание растений заданным спектром и мощностью излучения. Исследование влияния красно-синего спектра излучения LED в процессе досвечивания растений выявило некоторые закономерности. Максимальным фотосинтез возможен

только при оптимальном сочетании в процентном соотношении синего и красного спектров при обязательном наличии излучения ламп широкого солнечного спектра [10, 11, 12].

Спектры излучения в процессе облучения по-разному влияют на геометрию выращиваемого тепличных растений. Так необоснованное досвечивание заданными спектрами излучения может сильно вытянуть стебель растения, или растение может затормозить свой рост. Тогда появляется необходимость управлять параметрами излучения по заданному алгоритму. Для этого требуется разработка математической модели, связывающая параметры излучения с показателями роста растений. Например, сюда можно отнести модели регрессионного типа [13], и они способны количественно оценить влияние различных сочетаний факторов среды обитания на жизнедеятельность растений без глубокого анализа биологических процессов, протекающих в них. Факторы, влияющие на жизнедеятельность растений, но не вошедшие в эксперимент, номинально присутствуют в нем в качестве усредненных параметров среды обитания без возможности их варьирования. В этом случае эксперимент будет признан корректным, а результаты исследования, вычисленные по модели, могут быть использованы для регулирования условий содержания растений в теплицах [14, 15]. В настоящее время нет какой-либо рекомендации по досвечиванию тепличных растений, выполнение которых позволило бы выращивать здоровые растения при оптимальном фотосинтезе с минимальными затратами на электрическую энергию [16]. Тогда актуальными являются изучение влияния спектров излучения на жизнедеятельность растений и умение управлять ими для минимизации необходимых затрат на производство тепличной продукции.

Цель и задачи исследования. Для изучения процессов влияния спектрального состава LED-

облучателей на жизнедеятельность тепличных растений необходимы экспериментальные исследования. Методика эксперимента должна предусматривать специальные климатические камеры или фитотроны. По опытным данным необходимо разработать математическую модель роста растений в зависимости от спектра излучения и режима облучения. Они позволят в дальнейшем оптимизировать режимы и управлять процессом облучения. В настоящее время теплицы массово не оснащены LED-облучателями. Поэтому для определения оптимального спектрального состава излучения от светодиодных источников света требуются дорогостоящие экспериментальные исследования. Для изучения поведения растения картофеля при различных уровнях сине-красного спектра излучения облучателей на основе LED-элементов была создана фотостановка. Конечной целью эксперимента является получение математической модели прироста и диаметра стебля. На основе полученной модели необходимо создать алгоритм управления ростовыми характеристиками растения в процессе его жизнедеятельности с минимальными затратами на досвечивание [17, 19, 20].

Методы исследования. В ходе исследования важно выявить спектры излучения, необходимые для жизни растений. При этом исследовались растения с коротким сроком жизни и быстрым наступлением генеративной фазы развития. В основном эксперименты проводились на листовых зеленых культурах или на картофеле для получения элитных семян.

Для проведения исследования была использована установка, изображенная на рисунке 1, состоящая из светодиодных светильников, блока управления, а также измерительного комплекса на базе АЦП ZET-210. Рост растений (высота) определялся при помощи миникомпьютера ODROID-C1+, который способен обрабатывать кадры, заснятые web-камерой. Уровень облученности пространства над растениями регулировался с помощью контроллера и специально созданной компьютерной программой в соответствии с разработанным алгоритмом. Обработка полученной информации в процессе эксперимента осуществлялась сертифицированными программами.

Для снятия основных характеристик светильника применялся сертифицированный прибор спектрофотометр ТКА-Спектр. Уровень облучения измерялся датчиком освещенности

APDS-9250, который был откалиброван с помощью спектрофотометра.

Уровень излучения СД-элементами регулировался количеством включенных светодиодов в работу, при этом можно было обеспечить требуемый спектральный состав. Микроклимат внутри фитобокса поддерживался специальным блоком управления. Эксперимент был проведен на генетически однородном материале картофеля, выращенного из меристемных клеток, и материалы исследований приведены в работе. Такой подход позволяет получить достоверные отклики на влияние различного спектрального состава сине-красного излучения LED-облучателей. Двухфакторный эксперимент проводился с целью определения количественного влияния красного и синего спектров излучаемых LED-источниками на геометрию формируемого стебля семенного картофеля. В таблице 1 приведена матрица планирования эксперимента в кодированных единицах, а в таблице 2 значения уровней и интервалов варьирования назначенных факторов.

Эксперименты, проводимые с целью получения математических моделей, оправданы, если позволяют использовать результаты моделирования с целью регулирования важнейшими факторами роста растений.

Рисунок 1
Общий вид экспериментальной установки

Таблица 1 Уровни варьирования факторов

№ опыта	Уровни варьирования	
	красного X1	синего X2
1	-1	-1
2	+1	-1
3	-1	+1
4	+1	+1
5	-1	0
6	+1	0
7	0	-1
8	0	+1
9	0	0

Таблица 2 Интенсивность излучения для заданного уровня варьирования

Наименование и обозначение факторов		Интенсивность излучения, %			Интервалы варьирования
		-1	0	1	
Интенсивность красного спектра, %	X1	40	60	80	20
Интенсивность синего спектра, %	X2	40	60	80	20

Результаты исследования. В процессе экспериментальных исследований влияния LED-облучения на картофель был получен массив

данных. После обработки результатов были получены зависимости, представленные на рисунке 2.

Рисунок 2

Зависимости прироста длины (а) и диаметра (б) стебля растения при досвечивании LED-облучателями

Как видно из полученных графиков, зависимость длины прироста стебля имеет вид перевернутой параболы, а график диаметра стебля имеет вид обычной параболы. Совместное решение по оптимизации двух спектров излучения просто невозможно. Тогда по опытным данным необходимо получить математические модели для каждого рассматриваемого геометрического размера стебля в зависимости от спектра излучения. Математические модели позволяют исследовать, как будет меняться геометрия стебля картофеля при различных сочетаниях рассматриваемых спектров LED-источников излучения [27].

В результате обработки опытных данных получена математическая модель прироста длины стебля следующего вида

$$l_{\text{ст}}(X_1, X_2) = 3,6222 + 0,1667 \cdot X_1 - 0,1 \cdot X_2 + 0,1667 \cdot X_1^2 - 0,075 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,366 X_2^2, \quad (1)$$

а для определения диаметра приращенного участка стебля

$$d_{\text{ст}}(X_1, X_2) = 0,6089 - 0,0067 \cdot X_1 - 0,0033 \cdot X_2 - 0,0233 \cdot X_1^2 + 0,005 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,0433 \cdot X_2^2, \quad (2)$$

где X_1 – интенсивность красного спектра, X_2 – интенсивность синего спектра.

Приведенные математические модели позволяют построить графические зависимости фронтальных проекций и проанализировать их. На рисунке 3 изображена фронтальная проекция графиков прироста длины новых участков стебля растения (кривые 1, 2, 3) и величины диаметров этих участков в зависимости от изменения количества красной составляющей спектра LED-излучения X_1 . При этом значения излучения в синем спектре строго фиксируются в условных точках эксперимента, т. е. при $X_2 = -1; 0$ и $+1$ в соответствии с принятым планом, приведенном в таблице 1.

Рисунок 3

Зависимости прироста $l_{\text{ст}}$ и $d_{\text{ст}}$ от кодированных факторов X_1 и X_2

Экспериментальные кривые 1, 2, 3 прироста длины стебля картофеля имеют явно выраженный минимум. Причем точка минимума графиков начинает смещаться в системе координат из условно отрицательной области оси X_1 к центральной точке эксперимента при изменении параметра X_2 для синего спектра. Следует отметить, что максимальная длина прироста стебля ожидается при параметрах $X_2 = -1$ и $X_1 = +1$, т. е. чем меньше синего спектра в излучении LED-источника, тем меньше вытягиваются растения. Отсюда вывод: красный спектр способствует ускорению роста стебля, а синий спектр подавляет способность растений к вытягиванию.

Размещение семейства кривых для $l_{ст}$ (1, 2, 3) указывает на то, что самый маленький прирост стебля (кривая 2) достигается, если $X_2 = 0$, что соответствует центральной точке эксперимента. Кривая (3), соответствующая $X_2 = +1$, находится значительно выше, что не соответствует логике рассуждения. Исходя из анализа кривых, следует, что минимум прироста стебля будет иметь место при досвечивании синим цветом $X_2 = 22 \text{ Вт/м}^2$. Большее или меньшее значение интенсивности синего спектра уже не влияет на показатели прироста стебля растения.

Графическая интерпретация уравнения (2) представлена на рисунке 3. Приведенные кривые 4, 5, 6 характеризуют изменения диаметра прироста стебля в зависимости от интенсивности LED-излучения в красном и синем спектрах.

Анализ данных показывает, что семейство графиков имеет вид перевернутой параболы. Оптимумы графиков есть максимальные значения диаметров приращенного участка стебля. Кривая 4 при $X_2 = 0$ размещена выше остальных и оптимумы кривых 5 и 6 сдвинуты по оси X_1 относительно оптимума кривой 4 влево и вправо, но по значению диаметр стебля находятся практически на одном уровне.

Предварительно можно сделать вывод, что интенсивность LED-излучения в синем спектре, как и в красном, не способствует чрезмерному увеличению диаметра стебля. Оптимум при $X_1 = +1$ меньше оптимума при $X_1 = -1$, хотя незначительно, но меньше оптимума в центре эксперимента при $X_1 = 0$. Отсюда следует, что в умеренных дозах ($X_1 = 0$) синий спектр также влияет на геометрию стебля, утолщая диаметр.

Для практического применения результатов эксперимента следует найти компромисс между количеством излучения LED-облучателей в красном и синем спектрах, в частности для получения растения картофеля с приемлемой геометрией стебля. При этом математические модели длины и диаметра стебля не имеют точки

пересечения, удовлетворяющей решению оптимизации режимов досвечивания.

Для разрешения данной проблемы воспользуемся методом прямого компромисса, рассмотренного в ряде статей. Графически это выглядит следующим образом. От оптимума графика диаметра стебля $d_{ст}$ при $X_2 = 0$ (кривая 5) к минимуму графика прироста стебля $l_{ст}$ (кривая 2) проводим отрезок прямой AB (рисунок 3). После чего определяем координаты точки C , являющейся геометрической серединой отрезка AB . По оси абсцисс определяем соответствующее значение $X_1 = 0,3$, а по оси ординат $l_{ст} = 4$ см. Определенные методом компромисса значения координат средней точки отрезка AB подставляем в уравнение (1) и определяем из решения квадратного уравнения значение X_2 , которое удовлетворяет компромиссу и является третьей координатой.

Фактически средняя точка компромисса C лежит в области оптимумов всех остальных кривых 1, 3 и 4, 6.

Подставим значения координат, вычисленных методом компромисса, в модель (1) и определим значение X_2 из уравнения модели. При условии, что $X_1 = -0,3$, и $l_{ст} = 4$ см, получим

$$4 = 3,62 + 0,17(-0,3) - 0,1 X_2 + 0,17(-0,3)^2 - 0,06(-0,3) X_2 + 0,37 X_2^2,$$

отсюда

$$0,37 X_2^2 - 0,08 X_2 - 0,45 = 0,$$

$$X_{21} = 1,2 \text{ (отн. ед.) или } X_{22} = -1,05 \text{ (отн. ед.)}.$$

С помощью пропорций и данных таблицы 1 можно сделать пересчет и получить, что

$$X_{21} = 96 \% \text{ или } X_{22} = 42 \%.$$

Результаты исследования показывают, что для роста растения предлагается досвечивание синим спектром с задействованием 96 % или 42 % всех LED-элементов соответствующего спектра. Естественно, для экономии энергии будет достаточно включить меньшее количество LED-элементов, и растению не будет нанесено никакого вреда. В этом и заключается принцип управления по математической модели.

Таким образом, предлагаемое количество LED-элементов в процентах, включенных в досвечивающее устройство, переводит энергию в соответствующий спектр того или иного излучения. Растение будет получать достаточное количество специального излучения для своего благополучного роста при минимальных затратах на досвечивание.

Для реализации результатов исследования влияния синего и красного спектров на рост и развитие любой тепличной культуры разработана система автоматического управления режимом досвечивания, представленная на рисунке 4.

Рисунок 4

Система управления режимом оптимального LED-досвечивания: ППП $q_{\text{син}}$ и $q_{\text{кп}}$ – датчик излучения синего и красного спектров соответственно; МУ – модуль управления LED-источниками излучения; $q_{\text{син}}$ и $q_{\text{кп}}$ – вычисленные процессором задания для оптимальных излучений в синем и красном спектрах

Важным элементом в системе управления является процессор, который на основе предложенной математической модели (1 и 2) и по специально заложенной программе вычисляет необходимую для досвечивания мощность синего и красного излучения LED. Математические модели для роста стебля картофеля могут быть получены и для других культур, таких как томаты, огурцы и цветы.

Предлагаемая система содержит датчики по каждому спектру излучения от LED-облучателя. В принципе эти датчики способны определять суммарное излучение, поступающее от солнца и LED-облучателя. Такой подход позволит рационально облучать растения.

Процессор формирует сигнал для включения определенного количества светодиодов синего и красного спектров, излучение которых будет способствовать правильной геометрии формирования новых участков стеблей растений. При этом общий свет может быть выключен уже после 12 часов работы, что позволяет дополнительно сэкономить электроэнергию. Для того, чтобы темный период времени не растянулся на длительное время, когда осуществляется дыхание и сжигание накопленных углеводов, необходимо включить LED-досвечивание по вычисленному процессором заданию.

Заключение. Для тепличных растений необходимо досвечивание различными спектрами излучения, способствующее правильному

росту стебля растения в процессе его выращивания. В ходе исследования выяснено, что важными составляющими частями спектра, необходимыми для жизни растений, являются красное и синее излучения LED-облучателей. При этом исследовались растения с коротким сроком жизни и быстрым наступлением генеративной фазы развития, и эксперименты проводились на листовых зеленых культурах или на картофеле для получения элитных семян.

Исследования влияния красно-синего спектра излучения LED в процессе досвечивания растений позволили выявить определенную закономерность. Так, максимальный фотосинтез возможен только при оптимальном сочетании в процентном соотношении синего и красного спектров при обязательном наличии излучения ламп широкого солнечного спектра. Исследования их влияния являются важными, так как синий и красный спектры по-разному влияют на формирование геометрии стебля растения.

При обработке данных эксперимента не получили однозначной модели, позволяющей оптимизировать ростовые процессы растения. Поэтому принято компромиссное решение по адаптации полученных моделей к интенсивности фотосинтеза. Полученные результаты могут послужить для управления факторами среды обитания в зависимости от уровня излучения в красном и синем спектрах для досвечивания, и естественного источника света, солнечного излучения.

Библиографический список

1. Кононенко, А.Н. Влияние различных источников света на развитие мини-растений картофеля в условиях светокультуры [Текст] / А.Н. Кононенко // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2016. № 45. С. 50–56.
2. Гужов, С. Концепция применения светильников со светодиодами совместно с традиционными источниками света [Текст] / С. Гужов, А. Полищук, А. Туркин // Современные технологии автоматизации. 2008. № 1. С. 14–18.
3. Попова, С.А. Обоснование прерывистого досвечивания тепличных растений СД-облучателями [Текст] / С.А. Попова // Вестник ИрГСХА. 2017. Выпуск 80/2. С. 118–125.
4. Попова, С.А. Применение импульсного досвечивания тепличных растений СД-облучателями [Текст] / С.А. Попова // Энергетика – аг-

ропромышленному комплексу России. Материалы международной научно-практической конференции. Челябинск, 2017. С. 147–156.

5. 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. P. 183–192.

6. Dueck T.A., Janse J., Eveleens B.A., Kempkes F.L.K., Marcelis L.F.M. Growth of tomatoes under hybrid LED and HPS lighting systems. *Acta Hort.*, 952 (2012), pp. 335–342.

7. 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. P. 3107–3117.

8. Poudel P.R., Kataoka I., Mochioka R. Effect of red- and blue-light-emitting diodes on growth and morphogenesis of grapes. *J. Plant Cell Tiss Organ Cult.* 2008. V. 92. P. 147–153.

9. Каримов, И.И. Эффективность использования светодиодных светильников в тепличных хозяйствах [Текст] / И.И. Каримов, Р.Р. Галиуллин // Вестник УГУЭС. Уфа: Уфимский государственный университет экономики и сервиса, 2016. С. 34–39.

10. Cummings I.J., Reid J.B., Koutoulis A. Red to far-red ratio correction in plant growth chambers – growth responses and influence of thermal load on garden pea. *J. Physiologia Plantarum.* 2007. V. 131. P. 171–179.

11. Sander W. Hogewoning, Govert Trouwborst, Hans Maljaars, Hendrik Poorter, Wim van Ieperen, Jeremy Harbinson. *Journal of Experimental Botany*, Volume 61, Issue 11, 1 June 2010, Pages 3107–3117.

12. Головацкая, И.Ф. Регуляция роста и развития растений *Brassica oleracea* L. с помощью коррекции солнечного излучения [Текст] / И.Ф. Головацкая, А.С. Минич, И.Б. Минич, М.А. Большакова // Вестн. Том. гос. ун-та. Биология. 2012. Т. 2 (18). С. 151–165.

13. Попова, С.А. Математическое моделирование продуктивности растений как средство повышения эффективности энергосбережения [Текст] / С.А. Попова // Вестник КрасГАУ. 2010. № 7. С. 141–145.

14. Попова, С.А. Способ автоматического управления свето-температурным режимом в теплице [Текст] / С.А. Попова, Н.М. Рычкова, М.А. Супрун // Патент № 2586923. РФ. Опубл. 10.06.2016. Бюл. № 16.

15. Шерязов, С.К. Многомерная система оптимизации микроклимата теплицы [Текст] / С.К. Шерязов, С.А. Попова // Научно-техническое обеспечение АПК Сибири. Материалы международной научно-технической конференции. Новосибирск, 2017. Т. 2. С. 148–153.

16. 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. P. 345–350.

17. Kiliana G., Bartkowiak D., Kazda M., Kaufmann D. Modelling the growth of plants with a uniform growth logistics. *Journal of Theoretical Biology*, 2014, P. 57–65.

18. Tamulaitis G., Duchovskis P., Bliznikas Z., Brazaityte A., Novickovas A., Zukauskas A. High-power light-emitting diode based facility for plant cultivation. *J. Phys. D: Appl. Physics.* 2005. V. 38. P. 3182–3187.

19. Gomez C., Morrow R.C., Bourget C.M., Massa G.D., Mitchell C.A. Comparison of intracanopy light-emitting diode towers and overhead high-pressure sodium lamps for supplemental lighting of greenhouse-grown tomatoes. *Hort Technology*, 23 (1) (2013), pp. 93–98.

20. Urbonaviciute Akvile, Pinho Paulo, Samuliene Giedre, Duchovskis Pavelas, Vitta Pranciskus, Stonkus Andrius, Tamulaitis Gintautas, Zukauskas Arturas, Halonen Liisa. Effect of Short-Wavelength Light on Lettuce Growth and Nutritional Quality. *Scientific works of the Lithuanian Institute of Horticulture and Lithuanian University of Agriculture. Sodinkyste ir Darzininkyste.* 2007. V. 26. P. 157–165.

Сведения об авторах

1. **Шерязов Сакен Койшыбаевич**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры энергообеспечения и автоматизации технологических процессов, Южно-Уральский государственный аграрный университет, 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 75, e-mail: sakenu@yandex.ru.

2. **Каримов Ильшат Ильгизович**, кандидат технических наук, начальник отдела организации проектно-изыскательских работ филиала ПАО АНК «Башнефть» «Башнефть-Новоил», 450001, г. Уфа, ул. Хадии Давлетшиной, д. 9, e-mail: karishat89@gmail.com.

3. **Попова Светлана Александровна**, кандидат технических наук, доцент, 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 75, e-mail: nrychkova@yandex.ru.

4. **Каримова Гульфия Раилевна**, старший преподаватель кафедры землеустройства, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, 450001, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34, e-mail: hasanova_gulfiya@bk.ru.

В выращивании тепличных растений важным является поддержание процесса фотосинтеза путем искусственного досвечивания. Для повышения энергоэффективности процесса необходимо оптимизировать режимы досвечивания, важно знать спектр излучения и мощность излучателя. При этом для досвечивания с целью энергосбережения рассматриваются светодиодные облучатели меньшей мощности, чем традиционно используемые натриевые облучатели высокого давления, они позволяют управлять режимом досвечивания тепличных растений. В статье предлагается алгоритм управления режимом досвечивания, позволяющий добиться роста растений при минимальных затратах на потребляемую электроэнергию. Для этого по специально заложенной программе вычисляют необходимую мощность светодиодных облучателей и режимы досвечивания. Для выбора мощности и режима излучения заданного спектра

приведена математическая модель роста растений, геометрии стебля растения в процессе выращивания семенного картофеля. Данные экспериментальных исследований на генетически однородном материале картофеля, выращенного из меристемных растений, позволяют получить достоверные отклики на различный спектральный состав сине-красного излучения светодиодных облучателей. Модель, полученная по экспериментальным данным, позволяет определить необходимый уровень красного и синего спектров излучения светодиодными источниками. Результаты исследования могут быть использованы для управления факторами среды обитания тепличных растений с учетом естественного источника солнечного излучения. Управление режимом досвечивания позволяет вырастить здоровые растения при оптимальном фотосинтезе с минимальными затратами на электрическую энергию.

S. Sheriazov, I. Karimov, S. Popova, G. Karimova

THE CONTROL OF LIGHTING UP REGIME OF GREENHOUSE PLANTS

Key words: *greenhouse plants; supplementary lighting; LED irradiators; radiation spectrum; stem geometry; supplementary lighting control.*

Authors' personal details

1. **Saken Sheryazov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Power Supply and Automation of Technological Processes, South Ural State Agrarian University, 454080, Chelyabinsk, Lenin Ave., 75, e-mail: sakenu@yandex.ru.

2. **Ilshat Karimov**, Ph. D., Head of the Department for Organization of Design and Survey Works of Bashneft-Novoil, a branch of BashNeft, 450001, Ufa, Khadiya Davletshina Str., 9, e-mail: karishat89@gmail.com.

3. **Svetlana Popova**, Ph. D., Associate Professor, 454080, Chelyabinsk, Lenin Ave., 75, e-mail: nrychkova@yandex.ru.

4. **Gulfiya Karimova**, senior lecturer of the Department of Land Management, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Agrarian University», 450001, Ufa, 50-letiya Oktiabrya Str., 34, e-mail: hasanova_gulfiya@bk.ru.

A system for controlling the lighting up regime is proposed in the article, which reduces the cost of consumed electricity. The proposed control system's main element is a processor, which calculates the necessary power of LED irradiators and the lighting up regimes according to a specially programmed program. For selecting the power and the regime of radiation of a given spectrum, a mathematical model of the plant stalk's geometry stalk in the process of its growth, obtained from the experimental data, is given. A two-factor experiment was

carried out to determine the quantitative effect of the red and blue spectra emitted by LED sources on the geometry of the formed stalk of seed potatoes. The paper presents the experimental studies' results on a genetically homogeneous material of potatoes grown from meristematic cells. It makes it possible to obtain reliable responses to the different spectral composition of LED irradiators' blue and red radiation. The given system of controlling the lighting up regime allows growing the healthy plants in optimal photosynthesis with minimal electricity costs.

© Шерьязов С.К., Каримов И.И., Попова С.А., Каримова Г.Р.