

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

УДК 631.544.41:621.321

**П.П. Долгих, М.Х. Сангинов,
Г.Н. Хусенов**

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ТЕПЛИЧНОГО ОБЛУЧАТЕЛЯ
С РЕГУЛИРУЕМЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ**

**P.P. Dolgikh, M.Kh. Sanginov,
G.N. Khusenov**

**THE DEVELOPMENT AND RESEARCH OF THE DESIGN OF HOTHOUSE IRRADIATOR
WITH ADJUSTABLE CHARACTERISTICS**

Долгих П.П. – канд. техн. наук, доц. каф. системозаэнергетики Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: dpp@rambler.ru

Сангинов М.Х. – асп. каф. системозаэнергетики Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: energy1989@bk.ru

Хусенов Г.Н. – асп. каф. системозаэнергетики Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: dpp@rambler.ru

Dolgikh P.P. – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Chair of Systems of Energy, Krasnoyarsk State Agricultural University, Krasnoyarsk. E-mail: dpp@rambler.ru

Sanginov M.Kh. – Post-Graduate Student, Chair of Systems of Energy, Krasnoyarsk State Agricultural University, Krasnoyarsk. E-mail: energy1989@bk.ru

Khusenov G.N. – Post-Graduate Student, Chair of Systems of Energy, Krasnoyarsk State Agricultural University, Krasnoyarsk. E-mail: dpp@rambler.ru

Для повышения эффективности процесса облучения в тепличных технологиях находят широкое применение светодиодные фитоизлучатели. Цель работы – разработка облучателя с регулируемыми параметрами для тепличных технологий. Проведенный анализ конструкций облучателей позволил выявить в качестве основного недостатка отсутствие регулировки характеристик в процессе эксплуатации. В работе предлагается для регулирования интенсивности излучения применять облучатель с регулируемой кривой силы света. Техническое решение облучателя, имеющего корпус, гибкую панель, разделенную на двенадцать секторов, по четыре сектора с синими, зелеными, красными точечными ис-

точниками излучения, винт-ограничитель и ротор-сердечник, позволило реализовать на практике регулирование кривой силы света. Полученные на распределительном фотометре кривые силы света класса «глубокая» и «косинусная» позволяют дать оценку пределам регулирования светораспределения облучателя. Расчет системы облучения на базе разработанного облучателя показал, что в варианте с глубокой кривой силы света удельная мощность увеличивается на 7 %; в варианте с косинусной кривой силы света – снижается на 58 % при регулировании высоты установки облучателя от 0,4 до 0,6 м. Результаты дают возможность при проектировании и эксплуатации рассчитывать и регули-

лизовать энергетические показатели системы облучения для конкретной теплицы. В работе доказано, что реализовать на практике все преимущества LED-облучения возможно путем обеспечения эффективного светораспределения.

Ключевые слова: сооружения защищенного грунта, светодиодные облучатели, регулирование кривой силы света, точечные источники излучения, энергоэффективность.

To increase the efficiency of the irradiation process in greenhouse technologies, LED phyto-radiators are widely used. The purpose of the study was the - development of the irradiator with adjustable parameters for hothouse technologies. The analysis of the structures of irradiators made it possible to identify as a major drawback the lack of adjustment of characteristics during the operation. In the study it is proposed to use an irradiator with a regulated light intensity curve to regulate the radiation intensity. The technical solution of the irradiator having a body, a flexible panel divided into twelve sectors, four sectors with blue, green, red point sources of radiation, a stop screw and a rotor core made it possible to realize the regulation of the light intensity curve in practice. The light intensity curves of the class "deep" and "cosine" obtained on a distributive photometer allow us to estimate the limits for the regulation of the luminance distribution of the irradiator. The calculation of irradiation system based on the developed irradiator showed that in the variant with a deep curve of the light intensity, the specific power is increased by 7 %; in the variant with a cosine curve of the luminous intensity it is reduced by 58 % when adjusting the height of the irradiator installation from 0.4 to 0.6 m. The results make it possible to calculate and regulate the energy parameters of the irradiation system for a particular greenhouse during the design and operation. In the work it is proved that to realize in practice all the advantages of LED-irradiation is possible by providing an efficient light distribution.

Keywords: protected ground structures, LED irradiators, regulation of the light intensity curve, point sources of radiation, energy efficiency.

Введение. При реализации современных агротехнологий в защищенном грунте всегда имеется возможность выращивания овощных куль-

тур при снижении энергозатрат. Перспективным направлением снижения затрат энергии является разработка более совершенных конструкций, способов и режимов работы технологического оборудования, в частности систем искусственного облучения [1].

В настоящее время уделяется большое внимание развитию промышленной светокультуры, в частности интенсивной светокультуре растений с широким использованием искусственных источников излучения. В работах [2–4] были проведены фундаментальные исследования по оценке влияния интенсивности излучения и спектрального состава на урожайность. Однако данные эксперименты сдерживались ограниченной номенклатурой светотехнических изделий. В частности, отсутствовали соответствующие источники излучения, позволяющие воспроизводить отдельные участки спектра и обладающие высокой надежностью. Данная проблема в современном мире может быть решена путем применения светодиодной техники.

Сейчас производители предлагают широкую линейку оборудования (фитосветильников, облучателей) на основе светодиодных технологий для создания оптимального радиационного режима при выращивании растений в контролируемых и регулируемых условиях [5–7], а исследователи постоянно ищут пути и предлагают методы рационализации данных устройств и установок [8–10].

Современные сведения о возможности применения светодиодных облучателей для теплиц [11] свидетельствуют об экономической эффективности их применения по сравнению с традиционными источниками излучения на объектах сельского хозяйства.

Однако разрабатываемые фитооблучатели обладают зачастую большими недостатками, чем традиционные излучатели для теплиц. К примеру, производитель [5], выпуская фитооблучатели прямоугольной формы при соотношении длина:ширина – 5:2, заявляет, что его установка имеет кривую силы света (КСС) класса К (концентрированная). Дальше указано, что угол раскрытия светового потока – 90° (ГОСТ 17677-82 дает 30°), и при этом приводится только одна кривая силы света (продольная или поперечная, не ясно). Также важнейшая характеристика *поток излучения* вообще не приводится, а дается

облученность как характеристика облучателя. При таких данных корректный расчет установок для реальных условий произвести невозможно. Другие же производители просто не приводят никаких данных, необходимых для проектирования облучательных систем [6, 7].

К тому же прямоугольная форма большинства облучателей (кроме немногочисленных круглосимметричных, например «СИДОР» [12]) не позволяет реализовать все преимущества облучения светодиодами. В данных облучателях одна часть растений облучается только синим участком спектра, другая – только красным и т.д. В таких условиях трудно оценивать равномерность и эффективность облучения.

Цель работы. Разработка облучателя с регулируемыми параметрами для тепличных технологий.

Задачи:

- провести анализ облучателей для тепличных технологий;
- дать обоснование регулируемых конструкций тепличных облучателей;
- разработать конструкцию облучателя с регулируемыми параметрами и получить кривые силы света проектируемого облучателя;
- дать рекомендации по использованию полученных результатов.

Материал и методы исследования. Для устранения приведенных выше недостатков известных конструкций нами была разработана модель светодиодного облучателя, представленная на рисунке 1.

При монтаже светильника использовали светодиоды GL-10B82107 синего, зеленого и красного цветов (табл. 1) диаметром 10 мм.

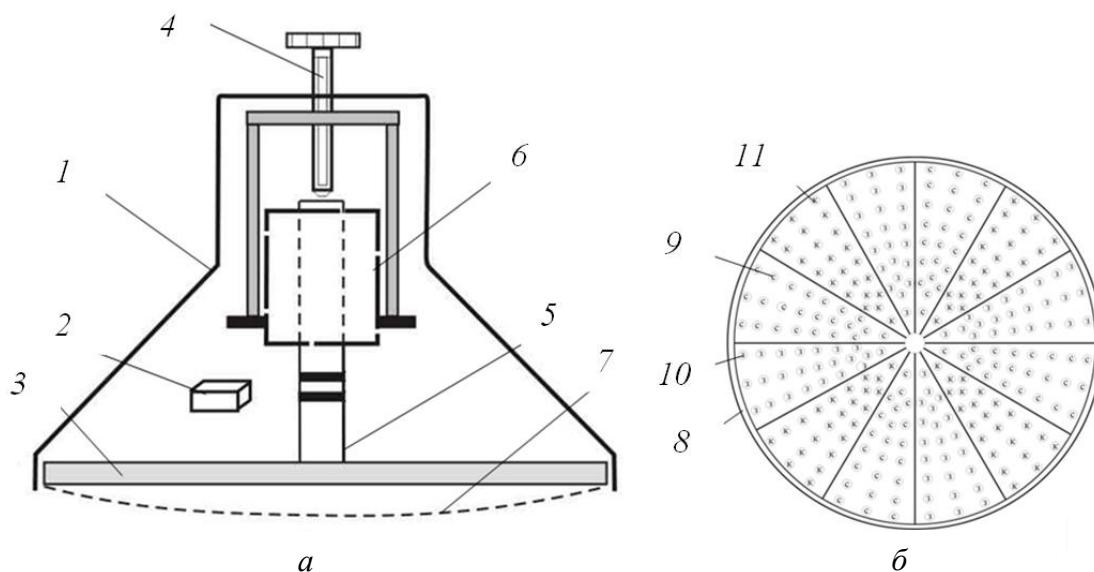


Рис. 1. Облучатель светодиодный: а – внешний вид; б – гибкая панель с точечными источниками излучения:

1 – корпус; 2 – электронный блок управления; 3 – гибкая панель с точечными источниками излучения; 4 – винт-ограничитель; 5 – ротор-сердечник; 6 – электромагнитная катушка; 7 – линза; 8 – основание; 9 – точечные источники синего цвета; 10 – точечные источники зеленого цвета; 11 – точечные источники красного цвета

Характеристики светодиодов

Показатель	Синий (Blue)	Зеленый (Green)	Красный (Red)
Номинальное напряжение U , В	2,8-3,6	2,8-3,2	2,8-3,2
Потребляемая мощность P , mW	80	80	80
Ресурс работы t , ч	80000	70000	80000
Сила света I , мкд	8280-10750	10000	18000
Номинальный ток $I_{НОМ}$, mA	20	20	20
Угол обзора α , °	25	25	25

Облучатель содержит гибкую панель 3 с основанием в форме круга 8, имеющем точечные источники излучения малых размеров (например, светодиоды): синего 9, зелёного 10 и красного 11 цветов. Точечные источники вмонтированы в двенадцать треугольных секторов, расположенных по окружности.

Таким образом, получается четыре сектора с синими точечными источниками, четыре сектора с зелеными точечными источниками и четыре сектора с красными точечными источниками. В каждом секторе находится по двадцать три светодиода (точечных источника), расположенных в виде трех прямых линий: центральная линия состоит из девяти светодиодов, каждая из боковых линия включает в себя по семь светодиодов.

Преимуществом разрабатываемого облучателя является возможность изменения КСС для конкретных условий выращивания. Осуществ-

ляется это следующим образом. В исходном состоянии винт-ограничитель 4 закручен до среднего положения и гибкая панель с точечными источниками излучения 3 горизонтальна (не изогнута). Облучатель имеет при этом стандартную КСС, например класса Г (глубокая). Если винт-ограничитель 4 вращать по часовой стрелке, он начинает упираться на ротор-сердечник 5, жестко соединенный с гибкой панелью с точечными источниками излучения 3, которая изогнется (станет выпуклой) и тем самым изменит КСС, например до класса Д (косинусная). В автоматическом режиме вылет ротора-сердечника 5 осуществляется путем подачи напряжения на электромагнитную катушку 6.

Результаты исследования и их обсуждение. Пределы регулирования КСС были измерены в ходе эксперимента с помощью оборудования, представленного на рисунке 2.

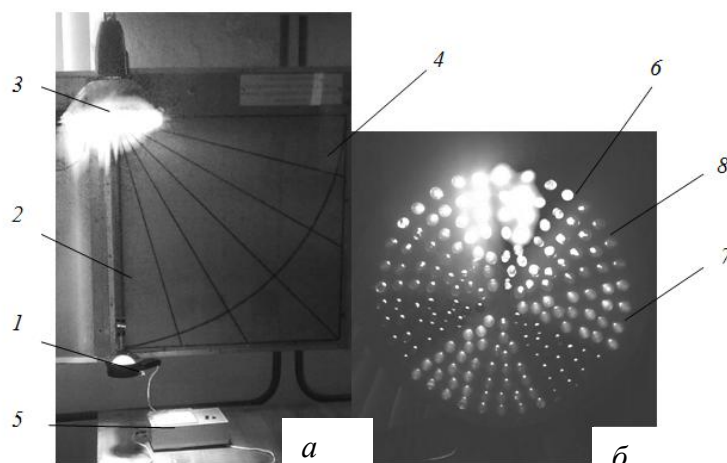


Рис. 2. Оборудование для определения характеристик облучателя:
 а – распределительный фотометр; б – гибкая панель с точечными источниками излучения:
 1 – датчик люксметра; 2 – подвижный рычаг; 3 – облучатель; 4 – планшет; 5 – люксметр;
 6 – точечные источники синего цвета; 7 – точечные источники зеленого цвета;
 8 – точечные источники красного цвета

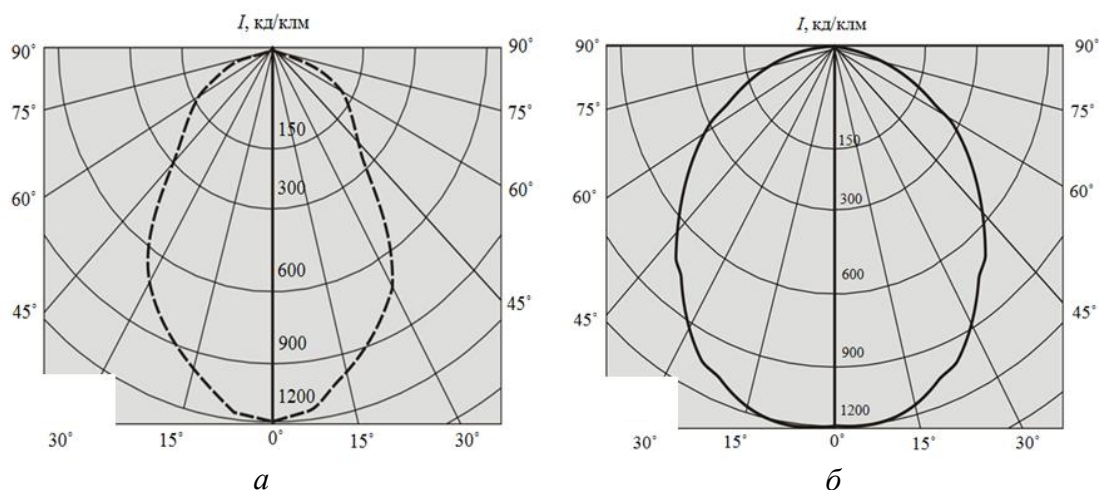


Рис. 3. КСС разрабатываемого облучателя: а – при горизонтальном положении гибкой панели с точечными источниками излучения; б – при изогнутом положении гибкой панели с точечными источниками излучения

Как видно из рисунка 3, при изменении кривизны гибкой панели с точечными источниками излучения КСС трансформируется. При этом форма КСС от глубокой (класс Г) приближается к косинусной (класс Д) [13].

Данные кривые могут быть аппроксимированы зависимостью вида [14]

$$I_{\alpha} = I_0 \cos^n \alpha, \quad (1)$$

где I_{α} – сила света облучателя в направлении угла α , кд; I_0 – осевая сила света облучателя, кд.

В формуле (1) коэффициент n характеризует изменение формы КСС относительно базовой кривой – равномерного светораспределения (класс М) при световом потоке 1000 лм. Величина n может быть определена по формуле

$$n = \frac{2\pi - \alpha_D}{2\alpha_D}, \quad (2)$$

где α_D – полный угол действия облучателя.

Для КСС класса Д $n=1$, для Г – 1,65. Таким образом, появляется возможность проектировать системы облучения для конкретной теплицы при разных уровнях облученности.

По полученным данным рассчитывали схему облучения по аналогии с [15]. Расчет производили по минимальной облученности. При этом коэффициент минимальной облученности

$$z = \frac{E_{\phi, \min}}{E_{\phi, \max}} \geq 0,8, \quad (3)$$

где $E_{\phi, \min}$, $E_{\phi, \max}$ – минимальная и максимальная фитооблученности, Вт/м² ФАР

$$E_{\phi} = I_{\alpha} \cos^3 \alpha \cdot k_{\phi} / h^2, \quad (4)$$

где I_{α} – сила света облучателя в направлении расчетной точки, кд; k_{ϕ} – коэффициент перевода светового потока источника в фитопоток.

Для расстановки облучателей в теплице строили графики фитооблученности (рис. 4). Для расчета выбирали стандартную теплицу размерами 50×15×4 м. Период работы облучателя: 30 дней по 16 часов в сутки; 30 дней по 8 часов в сутки.

В таблице 2 даны показатели по двум вариантам систем облучения.

Как видно из таблицы 2, в варианте с КСС класса Г $P_{уд}$ увеличивается на 7 %; в варианте с КСС класса Д $P_{уд}$ снижается на 58 % с изменением высоты установки облучателя от 0,4 до 0,6 м. Поэтому вариант с КСС класса Г можно рекомендовать для рассадных отделений теплицы, где высота установки облучателя до 0,5 м, а вариант с КСС класса Д – для интенсивной светокультуры, где высота установки облучателя над растениями $\geq 0,5$ м.

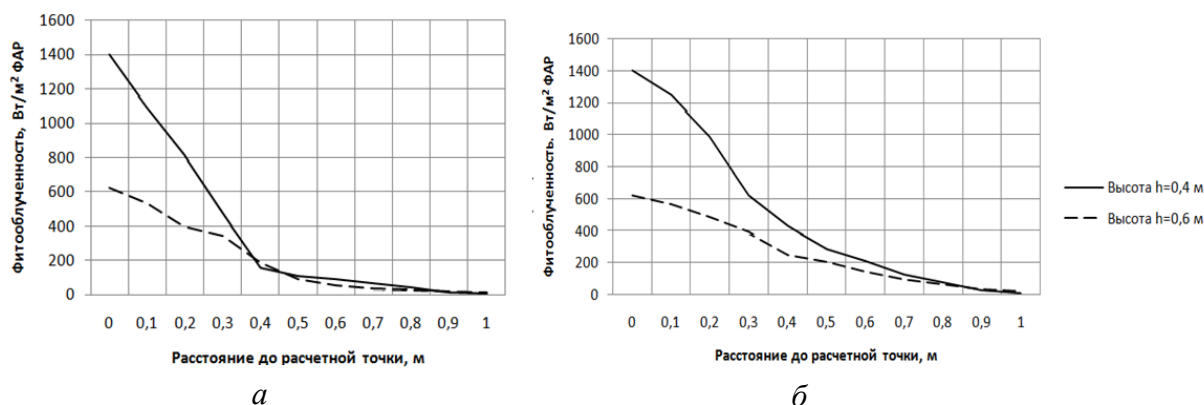


Рис. 4. Графики фитооблученности для исследуемого облучателя: а – режим работы облучателя с КСС класса Г; б – режим работы облучателя с КСС класса Д

Таблица 2

Варианты систем облучения

Количество облучателей N, шт.	Расход электроэнергии W, кВт·ч	Класс КСС	Установленная мощность системы облучения P _у , кВт	Удельная установленная мощность P _{уд} , Вт/м ²
Высота установки облучателя h=0,4м				
629	61920	Г	86	115
578	56880	Д	79	105
Высота установки облучателя h=0,6м				
666	65664	Г	91,2	123
336	33120	Д	46	61

Выводы

1. Проведенный анализ светодиодных облучателей для теплиц позволил выявить в качестве основного недостатка отсутствие регулировки кривой силы света (КСС) в процессе эксплуатации.

2. Техническое решение облучателя, имеющего гибкую панель с точечными источниками излучения, винт-ограничитель и ротор-сердечник, позволило реализовать на практике регулирование КСС.

3. Полученные КСС классов «глубокая» и «косинусная» позволяют дать оценку пределам регулирования светораспределения облучателя: в варианте с КСС класса Г P_{уд} увеличивается на 7 %; в варианте с КСС класса Д P_{уд} снижается на 58 % с изменением высоты установки облучателя от 0,4 до 0,6 м.

4. Результаты дают возможность при проектировании и эксплуатации рассчитывать и регулировать энергетические показатели системы облучения для конкретной теплицы.

лизовать энергетические показатели системы облучения для конкретной теплицы.

Литература

1. Энергосберегающие облучательные установки для сооружений защищенного грунта / П.П. Долгих, В.Р. Завей-Борода, Я.А. Кунгс [и др.]. – Красноярск: Изд-во КрасГАУ, 2006. – 108 с.
2. Проблема оптимизации спектральных и энергетических характеристик излучения растениеводческих ламп / А.А. Тихомиров, Ф.Я. Сидько, Г.М. Лисовский [и др.]. – Красноярск: Изд-во ИБФ СО АН СССР, 1983. – 47 с.
3. Тихомиров А.А., Лисовский Г.М., Сидько Ф.Я. Спектральный состав света и продуктивность растений. – Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1991. – 168 с.
4. Тихомиров А.А., Шарупич В.В., Лисовский Г.М. Светокультура растений: биофизиче-

- ские и биотехнологические основы. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. – 213 с.
5. Светодиодное освещение. Каталог продукции. Фитоосвещение. – URL: <http://okbluch.ru/shop/fitosvetilniki> (дата обращения: 25.02.2017).
 6. Светодиодные фитосветильники для растений. – URL: <https://fitoled.pro/> (дата обращения: 03.03.2017).
 7. Производство светодиодных фитосветильников с рекордно высоким PPF (ФАР). – URL: <http://diode-system.com/fito/#catalog> (дата обращения: 05.03.2017).
 8. Пат. 142791 Российская Федерация, МПК7 A01G 9/20. Энергосберегающий светодиодный фитооблучатель / *Ракутько С.А., Пацуков А.Э., Таличкин С.В.*; заявитель и патентообладатель ГНУ СЗНИИМЭСХ Россельхозакадемии. – № 2013148497/13; заявл. 30.10.13; опубл. 10.07.2014, Бюл. № 19.
 9. Пат. 159034 Российская Федерация, МПК7 F21K 99/00. Установка осветительная светодиодная с изменяемой светоцветовой средой / *Ашратов А.А., Вишневский С.А.*; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева». – № 2014147714/07; заявл. 26.11.2014; опубл. 27.01.2016, Бюл. № 3.
 10. Пат. 168490 Российская Федерация, МПК7 F21V 33/00. Фитосветильник для улучшенного роста растений / *Орлов К.А.*; заявитель и патентообладатель Орлов Кирилл Александрович. – № 2016121937; заявл. 02.06.2016; опубл. 06.02.2017, Бюл. № 4.
 11. *Гавриленко А.П.* Светодиодный свет для теплиц. Ассоциация «Теплицы России». – URL: <http://rusteplica.ru/публикации/приборы-оборудование/светодиодный-свет-для-теплиц-епова-l.htm> (дата обращения: 05.03.2017).
 12. Пат. 92250 Российская Федерация, МПК7 A01G 9/24. Светодиодный осветитель растений (СИДОР) / *Марков В.Н.*; заявитель и патентообладатель Марков Валерий Николаевич. – № 2009133013/22; заявл. 03.09.2009; опубл. 10.02.2010, Бюл. № 4.
 13. ГОСТ Р 54350-2015. Приборы осветительные. Светотехнические требования и методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2015. – 42 с.
 14. *Кнорринг Г.М., Фадин И.М., Сидоров В.Н.* Справочная книга для проектирования электрического освещения, – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Энергоатомиздат, 1992. – 448 с.
 15. *Хусенов Г.Н., Сангинов М.Х., Долгих П.П.* Сравнительная оценка тепличных облучательных установок // *Эпоха науки*. – 2016. – № 8. – С. 215–219.

Literatura

1. Jenergosberegajushhie obluchatel'nye ustanovki dlja sooruzhenij zashhishhennogo grunta / *P.P. Dolgih, V.R. Zavej-Boroda, Ja.A. Kungs* [i dr.]. – Krasnojarsk: Izd-vo KrasGAU, 2006. – 108 s.
2. Problema optimizacii spektral'nyh i jenergeticheskikh karakteristik izluchenija rastenievodcheskih lamp / *A.A. Tihomirov, F.Ja. Sid'ko, G.M. Lisovskij* [i dr.]. – Krasnojarsk: Izd-vo IBF SO AN SSSR, 1983. – 47 s.
3. *Tihomirov A.A., Lisovskij G.M., Sid'ko F.Ja.* Spektral'nyj sostav sveta i produktivnost' rastenij. – Novosibirsk: Nauka, Sib. otd-nie, 1991. – 168 s.
4. *Tihomirov A.A., Sharupich V.V., Lisovskij G.M.* Svetokultura rastenij: biofizicheskie i biotehnologicheskie osnovy. – Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2000. – 213 s.
5. Svetodiodnoe osveshhenie. Katalog produkcii. Fitoosveshhenie. – URL: <http://okbluch.ru/shop/fitosvetilniki> (data obrashhenija: 25.02.2017).
6. Svetodiodnye fitosvetil'niki dlja rastenij. – URL: <https://fitoled.pro/> (data obrashhenija: 03.03.2017).
7. Proizvodstvo svetodiodnyh fitosvetil'nikov s rekordno vysokim PPF (FAR). – URL: <http://diode-system.com/fito/#catalog> (data obrashhenija: 05.03.2017).
8. Pat. 142791 Rossijskaja Federacija, MPK7 A01G 9/20. Jenergosberegajushhij svetodiodnyj fitobluchatel' / *Rakut'ko S.A., Pacukov A.Je., Talichkin S.V.*; zajavitel' i patentobladatel' GNU SZNIIMeSH Rossel'hoz akademii. – № 2013148497/13; zajavl.

- 30.10.13; opubl. 10.07.2014, Bjul. № 19.
9. Pat. 159034 Rossijskaja Federacija, MPK7 F21K 99/00. Ustanovka osvetitel'naja svetodi-odnaja s izmenjaemoj svetocvetovoj sredoj / *Ashrjатов А.А., Vishnevskij S.A.*; zajavitel' i patentoobladatel' FGBOU VPO «Mordovskij gosudarstvennyj universitet im. N.P. Ogareva». – № 2014147714/07; zajavl. 26.11.2014; opubl. 27.01.2016, Bjul. № 3.
 10. Pat. 168490 Rossijskaja Federacija, MPK7 F21V 33/00. Fitosvetil'nik dlja uluchshennogo rosta rastenij / *Orlov K.A.*; zajavitel' i patentoobladatel' Orlov Kirill Aleksandrovich. – № 2016121937; zajavl. 02.06.2016; opubl. 06.02.2017, Bjul. № 4.
 11. *Gavrilenko A.P.* Svetodiodnyj svet dlja teplic. Associacija «Teplicy Rossii». – URL: [http://rusteplika.ru/publikacii/pribory-](http://rusteplika.ru/publikacii/pribory-oborudovanie/svetodiodnyj-svet-dlja-teplic-enova-l.htm)oborudovanie/svetodiodnyj-svet-dlja-teplic-enova-l.htm (data obrashhenija: 05.03.2017).
 12. Pat. 92250 Rossijskaja Federacija, MPK7 A01G 9/24. Svetodiodnyj osvetitel' rastenij (SIDOR) / *Markov V.N.*; zajavitel' i patentoobladatel' Markov Valerij Nikolaevich. – № 2009133013/22; zajavl. 03.09.2009; opubl. 10.02.2010, Bjul. № 4.
 13. GOST R 54350-2015. Pribory osvetitel'nye. Svetotekhnicheskie trebovanija i metody ispytanij. – M.: Standartinform, 2015. – 42 s.
 14. *Knorring G.M., Fadin I.M., Sidorov V.N.* Spravochnaja kniga dlja proektirovanija jellektricheskogo osveshhenija, – 2-e izd., pere- rab. i dop. – SPb.: Jenergoatomizdat, 1992. – 448 s.
 15. *Husenov G.N., Sanginov M.H., Dolgih P.P.* Sravnitel'naja ocenka teplichnyh obluchatel'nyh ustanovok // *Jepoha nauki.* – 2016. – № 8. – S. 215–219.



УДК 681.586

В.В. Кибардин, О.А. Ковалева

СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРОВ В УСЛОВИЯХ ИНТЕРВАЛЬНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

V.V. Kibardin, O.A. Kovaleva

THE SYNTHESIS OF CONTROLLERS UNDER INTERVAL UNCERTAINTY

Кибардин В.В. – канд. техн. наук, доц. каф. электрификации горно-металлургического производства Института горного дела, геологии и геотехнологий Сибирского федерального университета, г. Красноярск. E-mail: kovalevao47@mail.ru

Ковалева О.А. – доц. каф. электрификации горно-металлургического производства Института горного дела, геологии и геотехнологий Сибирского федерального университета, г. Красноярск. E-mail: kovalevao47@mail.ru

Kibardin V.V. – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Chair of Electrification of Mining and Metallurgical Production, Institute of Mining, Geology and Geotechnologies, Siberian Federal University, Krasnoyarsk. E-mail: kovalevao47@mail.ru

Kovaleva O.A. – Assoc. Prof., Chair of Electrification of Mining and Metallurgical Production, Institute of Mining, Geology and Geotechnologies, Siberian Federal University, Krasnoyarsk. E-mail: kovalevao47@mail.ru

Решена задача анализа и синтеза системы «тиристорный преобразователь–двигатель» в условиях интервальной неопределенности сопротивления и индуктивности обмоток,

момента инерции и т.д. Определены их границы, зависящие от конструктивных особенностей и условий эксплуатации. Рассмотрено влияние интервальных неопределенностей на