

## СИСТЕМА ОБЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ВЕГЕТАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ

P.P. Dolgikh, M.V. Samoylov

## THE SYSTEM OF RADIATION FOR VEGETATIVE INSTALLATION

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

**Самойлов М.В.** – ст. преп. каф. системозащиты Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: dpp@rambler.ru

**Dolgikh P.P.** – Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Chair of Energy System, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk. E-mail: dpp@rambler.ru

**Samoylov M.V.** – Asst, Chair of Energy System, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk. E-mail: dpp@rambler.ru

При реализации современных агротехнологий в защищенном грунте всегда имеется возможность выращивания овощных культур с низкими затратами энергии. Перспективным направлением снижения энергозатрат является разработка более совершенных конструкций, способов и режимов работы технологического оборудования, в частности систем искусственного облучения. Требования к светотехническим методикам расчета облучательных установок для теплиц регламентируют высоту подвеса для точечных источников излучения не ниже 0,5 м над приемником. Это обстоятельство связано с большой долей инфракрасного излучения облучателей, губительного для растений. Высокое расположение облучателей приводит к необходимости увеличения удельной установленной мощности систем облучения, и, как следствие, увеличению энергоемкости тепличных технологий. Расчет показал, что путем снижения высоты подвеса облучателя на 0,22 м возможно добиться двукратного увеличения уровня облученности с 50 до 100 Вт/м<sup>2</sup> ФАР, оптимального для обеспечения фотосинтеза культуры редиса при излучении облучателя в диапазоне длин волн 600–700 нм. Определены рациональные параметры системы «облучатель – вегетационная установка», по которым изготовлена опытная установка и проведены экспериментальные исследования для оценки эффекта двух вариантов системы облучения по критерию хозяйственно-полезного

урожая. Решение проблемы снижения энергоемкости продукции растениеводства, на примере ценоза редиса путем изменения параметров традиционной схемы облучения и отводом излишков тепловой энергии от облучателя, позволяет при двукратном увеличении облученности увеличить урожайность редиса на 2,2 кг/м<sup>2</sup> при соблюдении значения коэффициента минимальной облученности 0,8.

**Ключевые слова:** система «облучатель – вегетационная установка», коэффициент минимальной облученности, методика расчета облучательных установок, энергоэффективность.

A promising direction to reduce energy consumption in greenhouse technology is the development of more advanced designs, techniques and modes of operation of technological equipment, in particular systems of artificial irradiation. Requirements of lighting methods of calculation of irradiators for greenhouses regulate the height of the suspension point sources of radiation is not below 0.5 m above the receiver. This fact involves a high proportion of infrared radiation irradiators, injurious to plants. The high location of irradiators leads to the necessity of increasing the installed capacity of the systems of exposure and, as consequence, increases energy intensity greenhouse technologies. The calculation showed that by reducing the height of the radiator to 0.22 m it is possible to achieve a twofold increase in the level of irradiance from 50 W/sq.m of photosynthetically active radiation to 100

*W/sq.m of photosynthetically active radiation, to ensure optimal photosynthesis for crops radish when the radiation irradiator in the wavelength range 600–700 nm. The solution to the problem of reducing the energy intensity of crop production on the example of radish cenosis by changing parameters of the traditional patterns of exposure and the drainage of excess thermal energy from the irradiator at the same time allows a twofold increase in irradiance to increase the yield of radish by 2.2 kg/m<sup>2</sup> when co-respect for the value of the ratio of minimum irradiance of 0.8.*

**Keywords:** system of 'feed-vegetation unit', the ratio of minimum irradiance, method of calculation of irradiating installations, energy efficiency.

**Введение.** Высокую урожайность тепличных культур можно получить при условии, что параметры микроклимата будут поддерживаться на оптимальном уровне. Наиболее важными являются энергетические факторы – оптическое облучение и температура воздуха [1]. При создании экономичных сооружений и установок для выращивания растений в искусственных условиях важно рассчитать и рационально расположить технологическое оборудование.

Для исследования режимов работы технологического оборудования в системах микроклимата культиваторов (камеры, теплицы, фитотроны) разработана вегетационная установка [2], параметры которой требуется определить.

**Цель исследования:** определение эффективных параметров системы «облучатель – вегетационная установка».

**Методики исследования.** Известно, что большая часть тепличных предприятий России обеспечена новыми энергоэкономичными системами облучения на основе современных эффективных натриевых ламп высокого давления (НЛВД) мощностью 400–600 Вт и металлогалогенных ламп (МГЛ) мощностью 1 000–2 000 Вт для дополнительного облучения растений и светокультуры [3].

Для исследований была выбрана система облучения на базе облучателя ЖСП37-400-001 с лампой PhilipsSON-TAgro 400. На рисунке 1 представлен внешний вид облучателя с кривыми силы света (КСС), в таблице 1 приведены основные характеристики [4].

На рисунке 2 приведен спектр излучения лампы SON-TAgro 400. Из рисунка 2 видно, что лампа имеет повышенную долю излучения в красном диапазоне длин волн 600–700 нм.

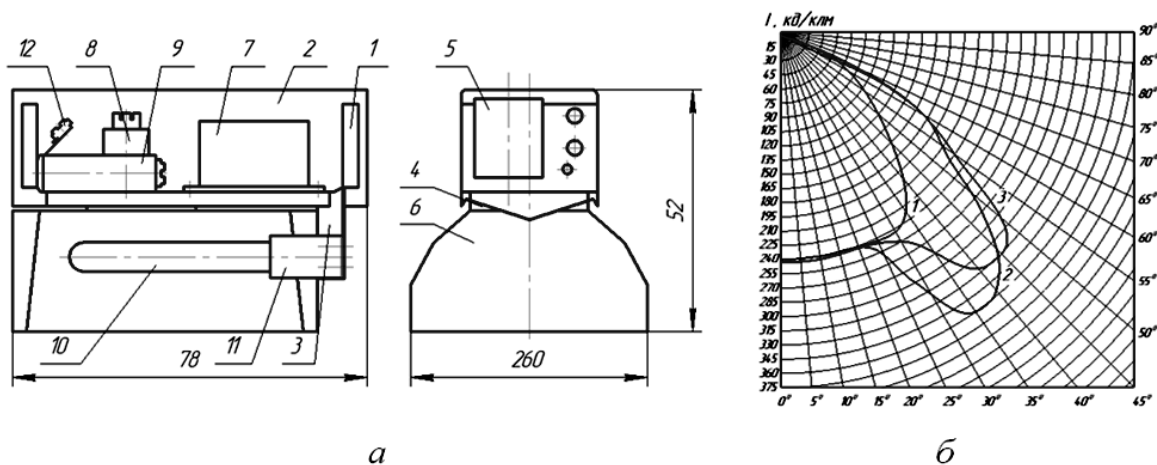


Рис. 1. Облучатель ЖСП37-400-001:

- а – внешний вид: 1 – шина; 2 – короб; 3 – кронштейн; 4 – фиксатор; 5 – крышка; 6 – отражатель; 7 – ПРА; 8 – ИЗУ; 9 – конденсатор; 10 – лампа PhilipsSON-TAgro 400; 11 – патрон E-40; 12 – клеммная коробка; б – кривая силы света: 1 – поперечная; 2 – продольная; 3 – под углом 45°

Таблица 1

Характеристики облучателя ЖСП37-400-001

Тип	Число, шт., и мощность лампы, Вт	Класс светораспределения по ГОСТ 17677-82	Тип кривой силы света по ГОСТ 17677-82		Световой поток, кЛм	Ток, А	КПД, %, не менее	Степень защиты по ГОСТ 14254-96	Тип патрона
			в продольной плоскости	в поперечной плоскости					
ЖСП37-400-001 слампой Philips SON-T Agro 400	1×400	П	Осевая	Л	55	2,2	80	IP21	E40

Исходя из технологических норм и опытных данных [6] определяем по методике [7] основные параметры облучательной установки для создания средней облученности  $E=50$  Вт/м<sup>2</sup> ФАР, рекомендуемой в большинстве тепличных агротехнологий. Оптимальной облученностью, при которой достигается максимальная эффективность фотосинтеза растений, считается ве-

личина  $E= 100$  Вт/м<sup>2</sup> ФАР [6]. Для нее также определяем параметры установки (рис. 3).

Данная методика предполагает установление высоты подвеса облучателей  $h \geq 0,5$  м, нижний предел которой ограничивается тепловым действием источников излучения, являющимся губительным для растений.

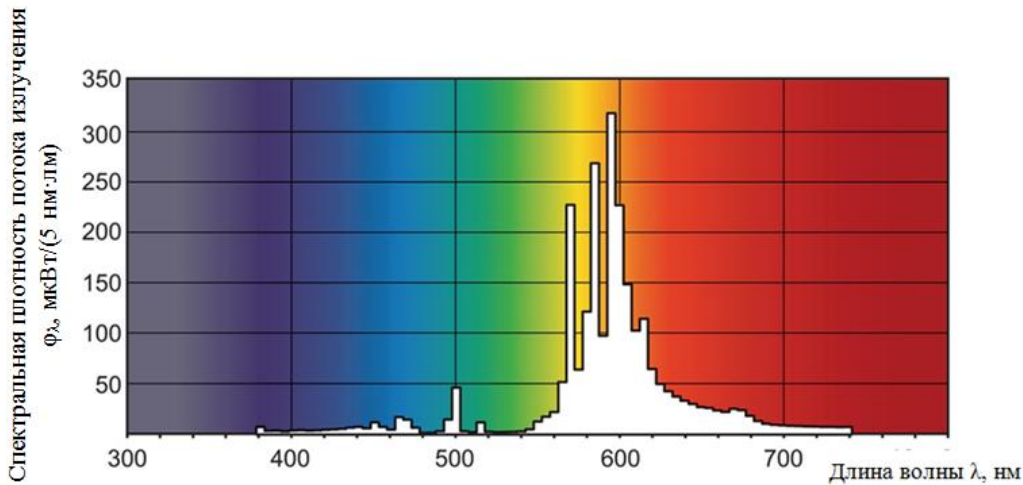


Рис. 2. Спектр излучения лампы Philips SON-T Agro 400 [5]

Горизонтальная облученность  $E$ , Вт/м<sup>2</sup> ФАР, в точке от одного облучателя

$$E_{\phi} = \frac{I_{\alpha} \cdot \cos^3 \alpha \cdot k_{\phi}}{h^2}, \quad (1)$$

где  $I_{\alpha}$  – сила света облучателя в направлении расчетной точки, кд;  $k_{\phi}$  – коэффициент перевода светового потока источника в поток ФАР, Вт/м<sup>2</sup>;  $h$  – высота подвеса, м;  $k_{\phi}=0,0023$  [8].

Расчет установки проводим по минимальной облученности. При этом коэффициент минимальной облученности

$$z = \frac{E_{\phi.min}}{E_{\phi.max}} \geq 0,8, \quad (2)$$

где  $E_{\phi.min}$ ,  $E_{\phi.max}$  – минимальная и максимальная облученность, Вт/м<sup>2</sup> ФАР.

Для расчета по рисунку 1, б применяем формулу

$$I = \frac{I_{1000} \cdot \Phi}{1000}, \quad (3)$$

где  $\Phi$  – световой поток лампы, лм;  $I_{1000}$  – значения силы света облучателя с условным источником света, кд.

По графикам облученности находим оптимальную высоту подвеса облучателя для двух вариантов и геометрические размеры ванны с почвогрунтом, исходя из условия (2) (рис. 4).

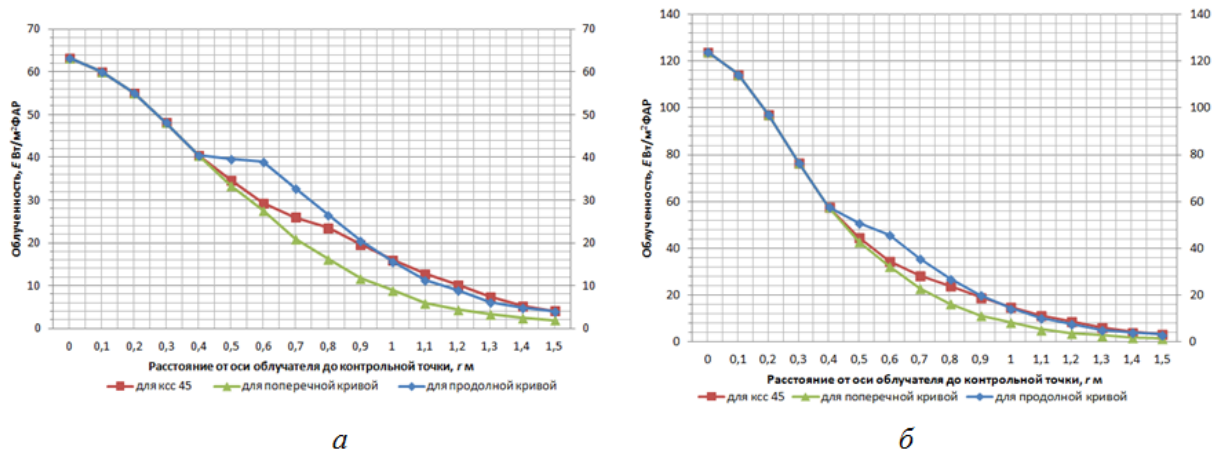


Рис. 3. Графики облученности под облучателем ЖСП с лампой PhilipsSON-TAgro 400: а –  $E = 50 \text{ Вт/м}^2 \text{ ФАР}$ ; б –  $E = 100 \text{ Вт/м}^2 \text{ ФАР}$

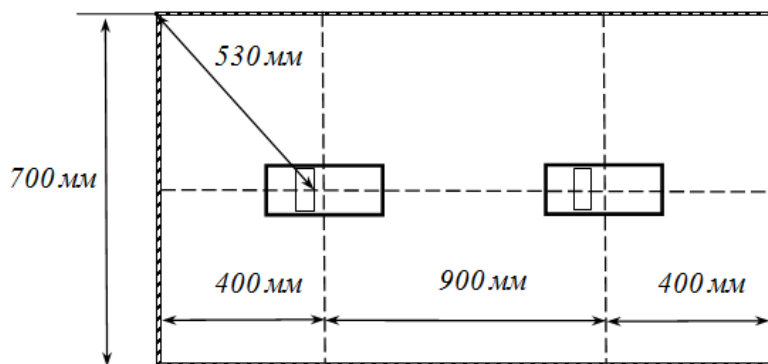


Рис. 4. План размещения облучателей в вегетационной установке

Определяем энергетические параметры системы «облучатель – вегетационная установка». Как известно [6], основными объектами исследования при проведении физиологических экспериментов в вегетационных установках являются ценозы редиса. Поэтому для расчета применяем данные из технологических требований, предъявляемых к выращиванию редиса сорта Жара.

Потребление электроэнергии за период вегетации

$$W = P_{уст} \cdot T \cdot t_{сут}, \quad (4)$$

где  $P_{уст}$  – установленная мощность системы облучения с двумя облучателями, Вт;  $t_{сут}$  – время работы системы облучения в сутки, ч;  $T$  – период вегетации, дней.

Результаты расчета параметров представлены в таблице 2.

Таблица 2

## Результаты расчета параметров системы «облучатель – вегетационная установка»

Параметр	Величина	
	1-й вариант	2-й вариант
Количество облучателей $N$ , шт.	2	2
Высота подвеса $h$ , мм	700	480
Размеры технологического объема установки, мм:		
длина $A$	1700	1700
ширина $B$	700	700
высота $H$	1500	1500
Средневзвешенный коэффициент неравномерности $z$	0,8	0,8
Облученность $E$ , Вт/м <sup>2</sup> ФАР	50	100
Установленная мощность системы облучения $P$ , кВт	0,908	0,908
Удельная установленная мощность системы облучения $P_{уд}$ , кВт/м <sup>2</sup>	0,763	0,763
Время работы системы облучения в сутки $t_{сут}$ , ч	16	16
Период вегетации $T$ , дней [9]	35	35
Тариф за электроэнергию, руб/(кВт·ч):		
в пределах социальной нормы $T_1$	1,45	1,45
свыше социальной нормы $T_2$	2,34	2,34
Потребление электроэнергии за период вегетации $W$ , кВт·ч	509	509
Удельное потребление электроэнергии системой облучения $W_{уд}$ , (кВт·ч)/м <sup>2</sup>	428	428
Затраты на оплату электрической энергии $C$ , руб.	1093	1093

Из данных таблицы 2 видно, что два варианта облучательной установки имеют схожие параметры, отличающиеся высотой подвеса и, как следствие, величиной облученности.

Эксперименты, проведенные российскими учеными показали, что наименьшие затраты энергии для исключения стрелкующихся форм редиса требуются при использовании красных лучей (длина волны 600–700 нм) и интенсивности ФАР 100 Вт/м<sup>2</sup> [6].

Из рисунка 5 видно, что при использовании ламп с максимумом излучения в зеленой области уровень облученности нужно увеличить в 2 раза по сравнению с красным светом, при использовании синего излучения – в 6 раз. Также доказано [6], что максимальный коэффициент хозяйственной эффективности  $K_{хоз}$ , характеризующий распределение ассимилятов между листовой поверхностью и корнеплодами, достигается при красном свете. Наименее эффективен в этом отношении синий свет.

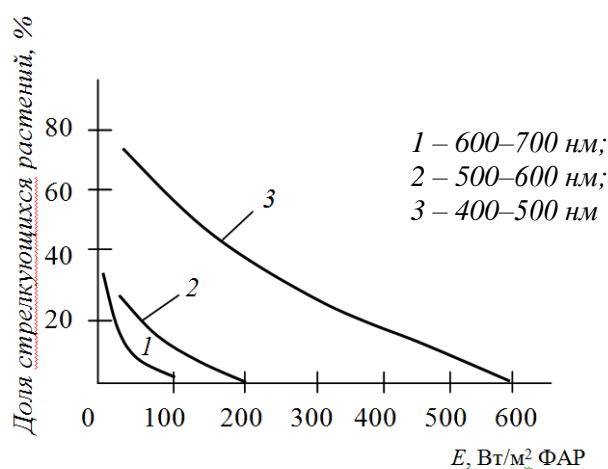


Рис. 5. Зависимость стрелкования растений редиса от интенсивности ФАР в отдельных спектральных областях [6]

Приведенные данные позволяют предположить, что лампа PhilipsSON-TAgro 400, имеющая максимум излучения в оранжево-красном диапазоне длин волн 600–700 нм (см. рис. 2), может являться наиболее эффективным источником излучения при выращивании редиса.

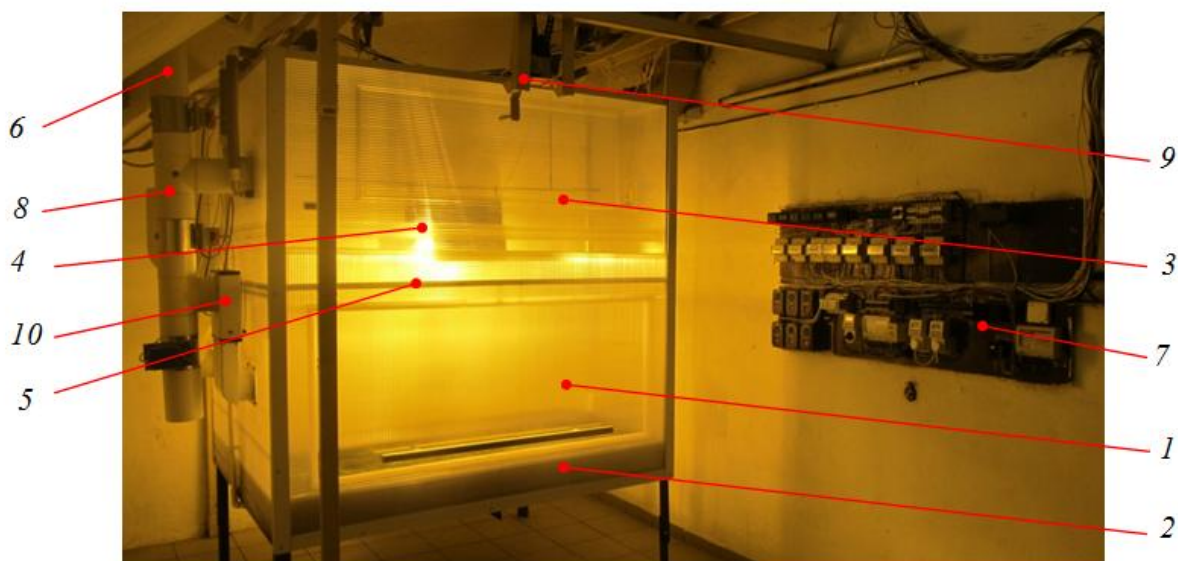
**Результаты исследования.** В эксперименте необходимо оценить эффект каждого из вариантов системы облучения, критерием оценки которого может являться хозяйственно-полезный урожай.

Для исследования режимов была изготовлена вегетационная установка по размерам из таблицы 2. Технологический объем камеры был разделен на две части в горизонтальной плоскости с помощью силикатного стекла толщиной 8 мм (рис. 6), что исключает неконтролируемое влияние инфракрасной составляющей излучения лампы на вегетационный процесс. Это позволяет устанавливать облучатель ниже высоты

$h = 0,5$  м, определенной нормами и методиками светотехнических расчетов [7].

Опытная вегетационная установка содержит основание с установленными на нем ваннами с почвогрунтом и растениями. К основанию крепятся вертикальные стойки, а к ним горизонтальные стойки, образуя каркас, обтянутый прозрачным поликарбонатом. Сверху климатической установки установлен механизм подъема облучателей с возможностью их регулирования по высоте.

Редис сорта Жара выращивался по технологии, изложенной в рекомендациях по выращиванию редиса [9]. Опыт осуществлялся в трех повторностях. Урожай снимался за один раз. После каждого опыта почвогрунт полностью заменялся. Результаты эксперимента представлены в таблице 3.



*Рис. 6. Конструкция экспериментальной вегетационной установки: 1 – рабочий отсек; 2 – ванны с почвогрунтом и растениями; 3 – отсек с облучателем; 4 – облучатели ЖСП с лампой PhilipsSON-TAgro 400; 5 – стеклянная перегородка; 6 – приточный воздуховод; 7 – система автоматического управления (САУ) параметрами микроклимата; 8 – система вентиляции и подготовки воздуха; 9 – механизм регулирования высоты подвеса облучателей; 10 – устройство подогрева воздуха*

Таблица 3

## Экспериментальные данные при разной высоте подвеса системы облучения

Параметр	Величина	
	1-й вариант $h=0,7$ м	2-й вариант $h=0,48$ м
Облученность $E$ , Вт/м <sup>2</sup> ФАР	50	100
Период вегетации $T$ , дней	35	30
Всего возшло, шт.	188	224
Вытянулось, шт.	33	14
Количество редиса товарного качества $N$ , шт.	138	201
Масса клубней товарного редиса $m$ , кг	3,8	6,44
Удельная установленная мощность системы облучения $P_{уд}$ , кВт/м <sup>2</sup>	0,763	0,763
Расход электроэнергии в системе облучения $W$ , кВт·ч	514	440
Удельное потребление электроэнергии системой облучения $W_{уд}$ , (кВт·ч)/м <sup>2</sup>	432	370
Средняя урожайность $U_{ср}$ , кг/м <sup>2</sup>	3,19	5,4
Удельная энергоемкость продукции $Q$ , (кВт·ч)/кг	135	68

Из таблицы 3 видно, что при одинаково установленной удельной мощности  $P_{уд}=0,763$  кВт/м<sup>2</sup> расход электроэнергии в варианте 2 снизился на 74 кВт·ч по сравнению с вариантом 1 за счет сокращения срока вегетации. Удельная энергоемкость продукции по сравнению с вариантом 1 снижена в 2 раза за счет увеличения урожайности на 2,21 кг/м<sup>2</sup> и снижения расхода электроэнергии.

Данная технология облучения может быть реализована с помощью информационной системы, представленной в [10], которая позволяет в любой момент времени обеспечить такую совокупность условий, при которой соблюдается оптимальное значение критерия эффективности.

**Выводы.** Изменение параметров традиционной схемы облучения в вегетационной установке показало двукратное снижение энергоемкости продукции. Новая технология с уменьшением высоты подвеса системы облучения, требующая отвода излишков тепловой энергии от облучателя, позволяет при увеличении облученности повысить урожайность на 2,2 кг/м<sup>2</sup> при соблюдении значения коэффициента минимальной облученности 0,8.

## Литература

1. Исследование и внедрение системы повышенной частоты с мощными тиристорными преобразователями для дополнительного облучения в теплицах: отчет о НИР / С. Юкнявичус, И. Кантминас, Э. Чярнус [и др.]. – Каунас, 1980. – 18 с.
2. Вегетационная установка: пат. № 2303346. Рос. Федерация: МКИ<sup>7</sup>A01G9/24 / Долгих П.П., Самойлов М.В., Завей-Борода В.Р. Опубл. 27.07.2007, Бюл. № 21.
3. Мальшев В.В. Повышение эффективности и облучательных установок для теплиц: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 2007. – 28 с.
4. Тепличные светильники серий ЖСП36, ЖСП37. Паспорт изделия. – URL: [http://www.ielectro.ru/Document34952.html?fn\\_tab2doc=1479](http://www.ielectro.ru/Document34952.html?fn_tab2doc=1479) (дата обращения 21.02.2016).
5. Спектризлучения MASTER SON-T PIA Green Power 400W. URL: [http://www.comsvet.ru/2/pr\\_teplich\\_son\\_shtml](http://www.comsvet.ru/2/pr_teplich_son_shtml) (дата обращения 21.02.2016).
6. Тихомиров А.А., Лисовский Г.М., Сидько Ф.Я. Спектральный состав света и продуктивность растений. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. – 168 с.
7. Баяев В.И. Практикум по электрическому освещению и облучению: учеб. пособие для вузов. – М.: КолосС, 2008. – 191 с.
8. Meyer J. Pflanzenbelichtung // AEL: Arbeitsgemeinschaft für Elektrizitätsanwendung in der Landwirtschaft. V., Heft 3/1994, Bonn. 84 s.

9. Антипова О.В. Рекомендации по выращиванию редиса кассетным способом методом подтопления на установках гидропонных стеллажных (УГС) // Теплицы России – 2007. – № 2. – С. 19–24.
10. Федорова И.А., Долгих П.П. Моделирование энергоэффективных режимов работы климатического оборудования в сооружениях защищенного грунта // Вестн. КрасГАУ. – 2015. – № 8. – С. 127–134.
- Document34952.html?fn\_tab2doc=1479 (data obras-hhenija 21.02.2016).
5. Spektr izluchenija MASTER SON-T PIA Green Power 400W. URL: [http://www.comsvet.ru/2/pr\\_teplich\\_son.shtml](http://www.comsvet.ru/2/pr_teplich_son.shtml) (data obrashhenija 21.02.2016).
6. 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.
7. Baev V.I. Praktikum po jelektricheskomu osveshheniju i oblucheniju: ucheb. posobie dlja vuzov. – M.: KolosS, 2008. – 191 s.
8. Meyer J. Pflanzenbelichtung // AEL: Arbeitsgemeinschaft für Elektrizitätsanwendung in der Landwirtschaft e.V., Heft 3/1994, Bonn. 84 S.
9. Antipova O.V. Rekomendacii po vyrashhivaniju redisa kassetnym spo-sobom metodom podtoplenija na ustanovkah gidroponnyh stella-zhnyh (UGS) // Teplicy Rossii – 2007. – № 2. – С. 19–24.
10. Fedorova I.A., Dolgih P.P. Modelirovanie jenergojeffektivnyh rezhimov raboty klimaticheskogo oborudovanija v sooruzhenijah zashhishhen-nogo grunta // Vestn. KrasGAU. – 2015. – № 8. – С. 127–134.

#### Literatura

1. Issledovanie i vnedrenie sistemy povyshennoj chastoty s moshhnymi tiri-stornymi preobrazovateljami dlja dopolnitelnogo obluchenija v teplicah: otchet o NIR / S. Juknjavichus, I. Kantminas, Je. Chjarnkus [i dr.]. – Kaunas, 1980. – 18 s.
2. Vegetacionnaja ustanovka: pat. № 2303346. Ros. Federacija: MKI7 A01G9/24 / Dolgih P.P., Samojlov M.V., Zavej-Boroda V.R. Opubl. 27.07.2007, Bjul. № 21.
3. Malyshev V.V. Povyshenie jeffektivnosti oblu-chatel'nyh ustanovok dlja teplic: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk. – M., 2007. – 28 s.
4. Teplichnye svetil'niki serij ZhSP36, ZhSP37. Pasport izdelija. – URL: <http://www.ielectro.ru/>

УДК 615.322:547.913

И.Д. Зыкова, Л.С. Тирранен,  
Л.В. Наймушина, А.Д. Саторник

#### ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА И АНТИМИКРОБНОЙ АКТИВНОСТИ ЭФИРНОГО МАСЛА *BRASSICA RAPA L.*

I.D. Zyкова, L.S. Tirranen,  
L.V. Naymushina, A.D. Satornik

#### THE STUDY OF COMPONENT COMPOSITION AND ANTIMICROBIAL ACTIVITY OF ESSENTIAL OILS *BRASSICA RAPA L.*

**Зыкова И.Д.** – канд. техн. наук, доц. каф. химии Политехнического института Сибирского федерального университета. E-mail: [IZykova@sfu-kras.ru](mailto:IZykova@sfu-kras.ru)

**Тирранен Л.С.** – д-р биол. наук, вед. науч. сотр. Международного научного центра исследования экстремальных состояний организма Красноярского научного центра СО РАН, г. Красноярск. E-mail: [IZykova@sfu-kras.ru](mailto:IZykova@sfu-kras.ru)

**Zykova I.D.** – Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Chair of Chemistry, Polytechnical Institute, Siberian Federal University. E-mail: [IZykova@sfu-kras.ru](mailto:IZykova@sfu-kras.ru)

**Tirranen L.S.** – Dr. Biol. Sci., Leading Staff Scientist, International Scientific Center of Research of Extreme Conditions of an Organism, Krasnoyarsk Scientific Center SB RAS, Krasnoyarsk. E-mail: [IZykova@sfu-kras.ru](mailto:IZykova@sfu-kras.ru)