



Сравнение влияния облучательных приборов на рост и урожайность на примере огурцов сорта Мева F1

Д. В. Былков¹, Д. А. Полторацкий¹, В. С. Солдаткин²,
А. О. Лазарева², А. П. Шкарупо², Е. С. Щепеткин³

¹ АО «Физтех-Энерго», г. Томск, Россия

² Томский государственный университет систем
управления и радиоэлектроники, г. Томск, Россия

³ ООО «КДВ Яшкинские Теплицы», р-н Яшкинский,
с. Поломошное, Кемеровская область – Кузбасс, Россия

Представлены результаты сравнительного анализа влияния оптических характеристик облучательных приборов разной конструкции на рост и урожайность растений (огурцов сорта Мева F1). Оптимизирована конструкция светодиодных светильников и построена светотехническая модель для создания лабораторного стенда для исследования воздействия оптического излучения на процесс выращивания растений в условиях закрытого грунта. Изготовлены экспериментальные образцы облучательных приборов на основе светодиодов, которые обеспечивает продуктивность растений при меньшем росте стебля.

Ключевые слова: фотосинтез, светодиоды, ДНаЗ, фотосинтетическая облученность, огурец «Мева F1», теплицы, урожайность

Статья получена: 19.03.2023

Статья принята: 07.07.2023

ВВЕДЕНИЕ

Согласно Доктрине продовольственной безопасности Российской Федерации [1], уровень самообеспечения овощами в стране должен составлять не менее 90%. Производство тепличных огурцов на территории Российской Федерации составило 885,7 тыс. тонн, уровень самообеспечения – 95% [2].

Comparison of the Influence of Irradiation Devices on Growth and Yield by the Example of Mewa F1 Cucumbers

D. V. Bylkov¹, D. A. Poltoratskiy¹, V. S. Soldatkin²,
A. O. Lazareva², A. P. Shkarupo², E. S. Shchepetkin³

¹ Fiztekh-Energo JSC, Tomsk, Russia

² Tomsk State University of Control Systems and
Radioelectronics, Tomsk, Russia

³ KDV Yashkinskiye Teplitsy LLC, Polomoshnoye village,
Yashkinsky district, Kemerovo region – Kuzbass, Russia

The comparative analysis results of the influence of the optic specifications of irradiation devices with different designs on the plant growth and yield (Mewa F1 cucumbers) are given. The design of LED lamps has been optimized, and a lighting engineering model has been prepared to make a laboratory bench for studying the optical radiation effect on the plant growing process in the greenhouse conditions. The experimental prototypes of irradiation devices based on the LEDs have been prepared that ensure the plant performance with a smaller stem growth.

Keywords: photosynthesis, LEDs, high-pressure sodium arc lamp (HPS), photosynthetic exposure, Mewa F1 cucumbers, greenhouses, yield

Article received: March 19, 2023

Article accepted: July 07, 2023

INTRODUCTION

According to the Food Security Doctrine of the Russian Federation [1], the level of vegetable self-sufficiency in the country should be at least 90%. The production of greenhouse cucumbers in the territory of the Russian Federation amounted to 885.7 thousand tons, the self-sufficiency level was 95% [2]. The total area of greenhouses used in winter in the country is 3,298 hectares. To ensure profitability, the yield should be 50 kg per square meter on average with an area of at least five hectares [3].



Общая площадь теплиц, эксплуатируемых в зимний период в стране, составляет 3298 га, для обеспечения рентабельности урожайность должна составлять в среднем 50 кг с одного квадратного метра, площадь – не менее пяти гектар [3]. Энергопотребление одного гектара теплицы складывается из потребления одного мегаватта электроэнергии и двух мегаватт тепловой энергии, преобладающая часть электроэнергии затрачивается на досвечивание растений. Энергозатраты составляют до 60% в себестоимости тепличных овощей [4]. Согласно данным GreenTalk.ru, крупнейшими тепличными хозяйствами России по площади теплиц в гектарах в 2020 году являлись: АО «Агрокомбинат «Южный» – 144 га, ООО «Агро-Инвест» – 105 га, ООО «ТК «Зеленая линия» – 83 га. В тепличных хозяйствах, эксплуатируемых в зимний период, для досвечивания растений применяются натриевые лампы (ДНаТ) или натриевые зеркальные лампы (ДНаЗ), например, лампа ДНаЗ Рефлакс, преимущественно с мощностями от 600 Вт до 1000 Вт. ДНаЗ Рефлакс 600W имеет световой поток до 90 000 лм, срок службы – до 25 000 часов, предназначена для освещения до 6,5 м² площади теплицы [5].

Современные достижения в полупроводниковой светотехнике позволяют создавать облучательные приборы для выращивания растений с более высокой энергоэффективностью. Именно за счет светодиодов можно конструировать облучательные приборы с высотой квантовой эффективностью, более 2 мкмоль/Дж и сроком службы порядка 80 000 часов в нормальных климатических условиях: температура окружающего воздуха (20±10) °С, относительная влажность воздуха (от 45 до 80) %, атмосферное давление (от 630 до 800) мм рт. ст. Рабочие характеристики облучательных приборов оказывают прямое влияние на рост, урожайность и другие потребительские качества продуктов, кроме потребительских качеств эффективность, и срок службы облучательных приборов напрямую влияет на себестоимость продукции. Эти данные показывают, что исследования и разработки полупроводниковых облучательных приборов для выращивания растений актуальны.

Целью работы является разработка облучательного прибора с квантовой эффективностью и сроком службы, превышающими ДНаЗ.

Для достижения поставленной цели следует решить следующие задачи:

- провести анализ современной научнотехнической литературы;

The energy consumption of one greenhouse hectare consists of the consumption of one megawatt of electric power and two megawatts of thermal energy. The predominant part of electric power is consumed for the supplementary lighting of plants. The energy expenditures account for up to 60% of the cost of greenhouse vegetables [4]. According to GreenTalk.ru, the largest greenhouse facilities in Russia in terms of greenhouse area in hectares in 2020 were Multi-unit Agricultural Enterprise Yuzhny JSC – 144 hectares, Agro-Invest LLC – 105 hectares, Green Line TC LLC – 83 hectares. The greenhouse facilities operated in winter, use the sodium lamps (DNaT, high-pressure sodium arc lamps) or sodium reflector lamps (HPS, high-pressure sodium arc lamps), for example, a Reflux HPS lamp, mainly with the power from 600 watts to 1000 watts. The HPS Reflux 600 W lamp has a luminous power of up to 90,000 lm, a service life of up to 25,000 hours, and is designed to illuminate up to 6.5 m² of greenhouse area [5].

The present-day developments in the field of semiconductor lighting engineering make it possible to develop the irradiation devices for plant growing with higher energy efficiency. It is due to the LEDs that it is possible to design the irradiation devices with high conversion quantum efficiency, more than 2 μmol/ and a service life of about 80,000 hours under normal climatic conditions: ambient temperature (20±10)°C, relative humidity (from 45 to 80)%, atmospheric pressure (from 630 to 800) mm Hg. The operating capabilities of irradiation devices shall have a direct impact on the growth, yield and other consumer qualities of the products, in addition to the consumer qualities. The efficiency and service life of irradiation devices directly affect the production costs. These data show that the research and development of semiconductor irradiation devices for plant growing shall be relevant.

The purpose of this paper is to develop an irradiation device with quantum efficiency and service life exceeding those of HPS.

To achieve this purpose, the following tasks shall be solved:

- To conduct an analysis of the up-to-date scientific and technical literature;
- To manufacture the experimental prototypes of irradiation devices based on the LEDs;
- To conduct a study of experimental prototypes of irradiation devices based on the LEDs in comparison with HPS in terms of yield and changes in the photosynthetic specifications during the period of operation.

- изготовить экспериментальные образцы облучательных приборов на основе светодиодов;
- провести исследования экспериментальных образцов облучательных приборов на основе светодиодов в сравнении с ДНаЗ по урожайности и изменению фотосинтетических характеристик в процессе эксплуатации.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Свет, наряду с поливом и газовым составом воздуха, играет ключевую роль в физиологии растений. Фотосинтез – это процесс, при котором в клетках растений, содержащих хлорофилл, под действием энергии облучения в области оптического спектра 350–800 нм образуются органические вещества из неорганических. При фотосинтезе растение поглощает углекислый газ и воду, синтезирует органические вещества и выделяет кислород, как побочный продукт фотосинтеза [6]. Ультрафиолетовое излучение (УФ) относится к бактерицидному и применяется для обеззараживания воздуха, поверхностей и воды [7]. Известно, что УФ-излучение разных диапазонов (УФ-А 315–400 нм, УФ-В 280–315 нм и УФ-С 100–280 нм) оказывает разное воздействие на растения. Диапазон 210–300 нм УФ-излучения соответствует естественному воздействию природных источников на процесс выращивания растений. Именно УФ-излучение вызывает у растений биосинтез вторичных метаболитов, таких как флавоноиды. Флавоноиды усиливают вкус, питательность и урожайность растений [8]. Инфракрасное излучение так же оказывает естественное природное воздействие на рост и развитие растений, особо отмечается значимость излучения на границе красного и инфракрасного излучения на длинах волн 750–800 нм [9]. Воздействие на растения оптического излучения в синей области оптического спектра 430–500 нм укрепляет корневую систему и стебель, излучение в красной области оптического спектра 620–760 нм стимулирует рост растения, а излучение в желто-зеленой области оптического спектра 500–620 нм играет регуляторную роль в процессе вегетации растений, а также способствует увеличению эффективности фотосинтеза за счет высокой проникающей способности, благодаря чему нижние слои кроны растений тоже получают оптическую энергию [10–13].

МЕТОДОЛОГИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Разработаны два типа светодиодных облучателей для растений (табл. 1), разработан светотехнический проект лабораторного стенда для исследования воздействия оптического излучения на про-

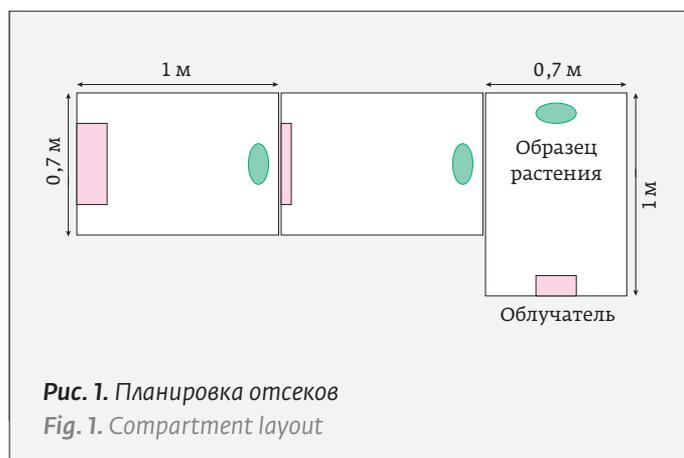


Рис. 1. Планировка отсеков

Fig. 1. Compartment layout

THEORETICAL PART

Along with watering and gas composition of the air, light plays a key role in the plant physiology. Photosynthesis is a process when the organic substances are generated from inorganic ones in the plant cells containing chlorophyll, under the influence of irradiation energy in the optical spectrum (350–800) nm. During photosynthesis, the plant absorbs carbon dioxide and water, synthesizes organic substances and releases oxygen as a photosynthesis by-product [6]. Ultraviolet radiation (UV) is of bactericidal nature and is used to disinfect air, surfaces and water [7]. It is well-known that UV radiation of various ranges (UV-A (315–400) nm, UV-B (280–315) nm and UV-C (100–280) nm) has different effects on the plants. The UV radiation range of 210–300 nm corresponds to the common influence of natural sources on the plant growing process. It is UV radiation that induces the biosynthesis of secondary metabolites in the plants, such as flavonoids. Flavonoids enhance the taste and favor, nutritional value and yield of plants [8]. Moreover, infrared radiation also has a natural effect on the plant growth and development. The importance of radiation at the border of red and infrared radiation at the wavelengths of (750–800) nm is especially noted [9]. Exposure of plants to the optical radiation in the blue region of the optical spectrum (430–500) nm strengthens the root system and stem, radiation in the red region of the optical spectrum (620–760) nm stimulates the plant growth, and radiation in the yellow-green region of the optical spectrum (500–620) nm plays a regulatory role in the plant vegetation process, as well as contributes to an increase in the photosynthesis efficiency due to its high penetrating ability, as a result of which the lower layers of the plant head receive optical energy [10–13].



Рис. 2. Визуализация отсеков

Fig. 2. Visualization of compartments

цесс выращивания растений в условиях закрытого грунта. Образцы растений – огурец «Мева F1» – предоставлены ООО «КДВ Яшкинские Теплицы». Огурцы «Мева F1» являются одними из самых распространенных культур огурца, выращиваемых в круглогодичных теплицах. Этот гибрид выведен в Голландии. Сортотип: среднеплодный гладкий. Выращивание рекомендуется для первой и третьей световых зон. Сорт относится к поздним разновидностям, поскольку первые плоды достигают полного созревания спустя 50–55 суток. Кожура зеленцев блестит и обладает темно-зеленым цветом со средней бугорчатостью и белым опушением, плоды цилиндрической формы. Мякоть плодов Мевы F1 упругая, хрустящая, сладкая и сочная. Масса одного огурца в среднем 182–209 г, размер достигает в среднем 17–20 см в начале вегетации, 20–24 см в конце вегетации и вырастают до 40 мм в диаметре. Огурцы Мева F1 отличаются крепким иммунитетом, поскольку обладают стойкостью к мучнистой росе, корневой и серой гнилям, а также к фузариозу. Обладают высокой регенеративной способностью [14–16].

Создан лабораторный стенд для исследования воздействия оптического излучения на процесс выращивания растений в условиях закрытого грунта, обеспечивающий нормальные климатические условия в процессе проведения исследо-

EXPERIMENTAL METHOD

Two types of LED irradiation devices for the plants have been developed (Table 1). A lighting engineering design of a laboratory bench has been developed to study the optical radiation effect on the plant growing process in the under cover conditions. The plant specimen (Mewa F1 cucumber) were provided by KDV Yashkinskiye Teplitsy LLC. The Mewa F1 cucumbers are among the most common cucumber crops grown in the year-round greenhouses. This hybrid was bred in Holland. Its variety is medium-fruited and smooth. Cultivation is recommended for the first and third light zones. The variety belongs to the late types, since the first fruits reach full ripening after 50–55 days. The button shell is shiny and has a dark green color with medium tuberosity and white pubescence, the fruits have cylindrical shape. The Mewa F1 fruit pulp is elastic, crispy, sweet and juicy. The weight of one cucumber is on average 182–209 g, the size reaches an average of 17–20 cm at the beginning of the growing season, 20–24 cm at the end of the growing season. The cucumbers are able to grow up to 40 mm in diameter. The Mewa F1 cucumbers are specified by strong immunity, as they are resistant to the powdery mildew, root and gray rot, as well as fusariosis. They have a high regenerative capacity [14–16].

A laboratory bench has been developed to study the optical radiation effect on the plant growing process in the greenhouse conditions that provides normal climatic conditions during the research: ambient temperature 25 ± 3 °C, relative air humidity (45–80) %, atmospheric pressure (630–800) mm Hg. The average irradiance level in all experiments was $101 \mu\text{mol s/m}^2$, the lamp operation mode: turning on for 12 hours from 8:00 a. m. to 08:00 p. m., turning off for 12 hours from 08:00 p. m. to 08:00 a. m., no natural light, daily watering. During the research process, the temperature and humidity values were monitored daily at the laboratory stand using the TKA-PM device. The number of fruits, fruit dimensions, stem height and leaf size were controlled. The fruit and leaf sizes were measured using a caliper gauge. The emission spectra and photosynthetic irradiance were measured using a UPRtek PG200N spectrometer.

The structure of Diora Unit Agro and Diora Quadro Agro LED irradiation devices is patented (patent No. 209987 U1 dated March 24, 2022 “LED irradiation device for plants”, Phystech-Energy).

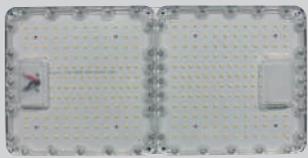
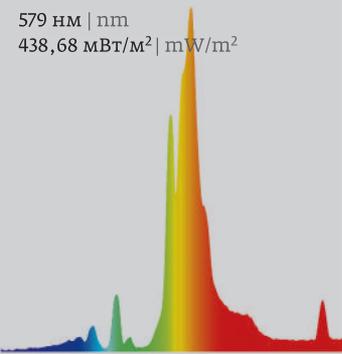
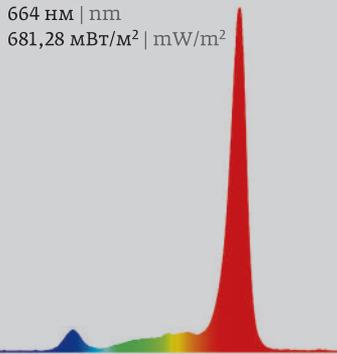
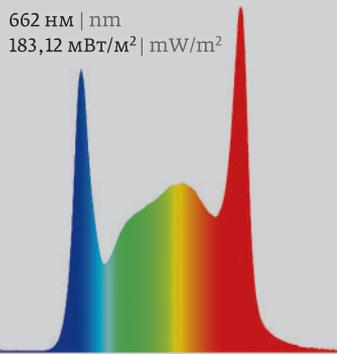
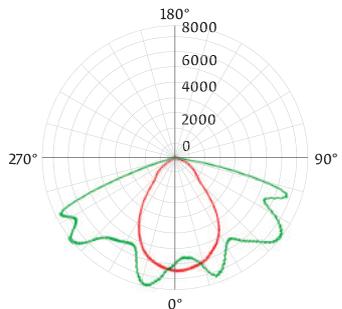
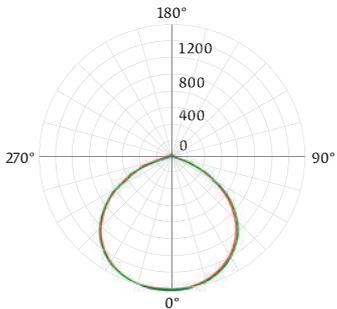
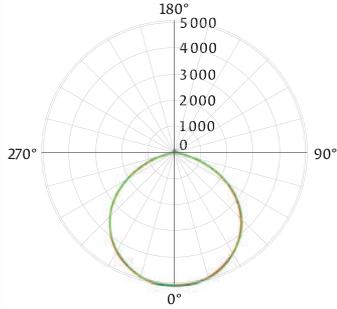
The LED irradiation device consists of a square-shaped aluminum LED board with the dimensions 195×195 mm, and the board thickness of 3 mm. The irradiator does not have a heatsink. The LED board

ваний: температура окружающей среды 25 ± 3 °C, относительная влажность воздуха 45–80 %, атмосферное давление 630–800 мм рт. ст., средний уровень облученности во всех экспериментах составлял $101 \text{ мкмоль} \cdot \text{с}/\text{м}^2$, Режим работы светильников

is applied as a heatsink, since it has sufficient area and thickness for efficient heat dissipation. The irradiation device uses two types of LEDs: these are red LEDs with an emission peak of 660 nm and white LEDs with a correlated color tempera-

Таблица 1. Характеристики светильников

Table 1. Specifications of the lamps

Наименование Name	ДНаЗ 250 Вт	Diora Unit Agro	Diora Quadro Agro
Внешний вид Appearance			
Габариты светильника, мм Lamp dimensions, mm	550×180×170	305×165×25	390×195×70
Напряжение питания (50 Гц), В Supply voltage (50 Hz), V	230	230	230
Потребляемая мощность, Вт Power consumption, W	263,8	80,92	113
Поток фотосинтетически активной радиации (PPF), мкмоль/с Flux of photosynthetically active radiation (PPF), $\mu\text{mol/s}$	302,25	238	248,78
Квантовая эффективность, мкмоль/Дж Quantum efficiency, $\mu\text{mol/J}$	1,15	2,94	2,2
Спектр излучения Emission spectrum	579 нм nm 438,68 мВт/м ² mW/m ² 	664 нм nm 681,28 мВт/м ² mW/m ² 	662 нм nm 183,12 мВт/м ² mW/m ² 
Кривая силы света (КСС) Light intensity curve (LIC)			



12 часов включен с 8:00 до 20:00, 12 часов выключены с 20:00 до 8:00, естественное освещение отсутствует, полив ежедневный. В процессе проведения исследований ежедневно осуществлялся контроль температуры и влажности в лабораторном стенде с помощью прибора «ТКА-ПМ». Осуществлялся контроль количества плодов, размеров плодов, высоты стебля и размера листьев. Размеры плодов и листьев измерялись с помощью штангенциркуля. Измерения спектров излучения и фотосинтетической облученности осуществлялись с помощью спектрометра UPRtek PG200N.

Конструкция светодиодных облучателей Diora Unit Agro и Diora Quadro Agro запатентована (пат. № 209987 У1 от 24.03.2022 г. «Светодиодный облучатель для растений» АО «Физтех-Энерго»).

Светодиодный облучатель состоит из алюминиевой светодиодной платы квадратной формы, 195×195 мм, толщина платы – 3 мм. Облучатель не имеет как такового радиатора, в качестве радиатора выступает сама светодиодная плата, так как она имеет достаточную площадь и толщину для эффективного отвода тепла. В облучателе используются два вида светодиодов, это красные светодиоды с пиком излучения 660 нм и белые светодиоды с коррелированной цветовой температурой 5000 К. На плату установлена групповая линза из поликарбоната для формирования диаграммы направленности излучения. К верхней части платы крепится рама, на которой установлен кронштейн с крепежными элементами и драйвер питания светодиодов.

Лабораторный стенд содержит три отсека, в котором попарно размещены светильники: ДНаЗ 250 Вт, Diora Unit Agro и Diora Quadro Agro. Габаритные размеры отсеков Д×Ш×В: 1×0,7×2,6 м. Стенки отсеков имеют белую матовую поверхность. В каждом отсеке размещены по два саженца огурцов. Мощность облучателей настраивалась таким образом, чтобы уровень облученности составлял в среднем 100 мкмоль·с/м².

С помощью светотехнической программы «DiaLux 4.13» был произведен светотехнический расчет необходимого уровня облученности. По результатам расчета были выбраны облучатели с фотометрическими параметрами, представленными в табл. 1 для достижения необходимого уровня облученности.

Были произведены фотометрические измерения выбранных облучателей и получены значения их светового потока, затем значения светового потока были пересчитаны из световых величин в энергетические для вычисления потока ФАР, а также зна-

ture of 5000K. A group lens made of polycarbonate is installed on the board to generate the radiation pattern. A frame is attached to the top of the board, on which a bracket with the fasteners and an LED power driver are installed.

The laboratory bench consists of three compartments, where the lamps are placed in pairs: HPS 250 W, Diora Unit Agro and Diora Quadro Agro. The overall dimensions of the compartments (LxWxH) are as follows: 1×0.7×2.6 m. The compartment walls have a white blind surface. Each compartment contains two cucumber seedlings. The power of irradiation devices was adjusted in such a way that the exposure level was on average 100 μmol/s/m².

The lighting engineering program “DiaLux 4.13” was used for a lighting calculation of the required irradiance level. Based on the calculation results, the irradiation devices with photometric parameters given in Table 1 were selected in order to achieve the required exposure level.

The photometric measurements of the selected irradiators were performed and their luminous flux values were obtained, after which the luminous flux values were recalculated from the luminous quantities into the radiation quantities to calculate the PAR flux, as well as the irradiance level values that were recalculated from the illuminance values obtained as a result of lighting calculation in the DiaLux program. The conversion was performed in the Matchad 14 program according to the formula 1:

$$F_{\text{ФАР}} = \int_{300}^{800} \frac{E_{\lambda} \cdot \lambda}{h \cdot c \cdot N_A} d\lambda, \quad (1)$$

where $F_{\text{ФАР}}$ is the photosynthetic photon flux, μmol/s;
 E_{λ} is the spectral concentration of the device radiation energy distribution, J/nm;
 λ is a wavelength, nm;
 h is a Planck’s constant;
 c is the speed of light;
 N_A is Avogadro’s constant.

The quantum efficiency calculation of the irradiation devices in the PAR range was carried out according to the formula 2:

$$\eta_{\phi} = \frac{F_{\text{ФАР}}}{P} [18], \quad (2)$$

where η_{ϕ} is the device efficiency in the PAR region, μmol/J;
 $F_{\text{ФАР}}$ is the photosynthetic photon flux, μmol/s;
 P is the power consumed by the device, W.

Table 1 also shows that in comparison to HPS 250 W, the LED lamps consume less electric power: Diora Unit Agro by 69.33%, Diora Quadro Agro by 57.16%.

чения уровня облученности, которые были пересчитаны из значений освещенности, полученных в результате светового расчета в программе DiaLux. Перевод осуществляли в программе Matchad 14 по формуле 1:

$$F_{\text{ФАР}} = \int_{300}^{800} \frac{E_{\lambda} \cdot \lambda}{h \cdot c \cdot N_A} d\lambda, \quad (1)$$

где $F_{\text{ФАР}}$ – фотосинтетический поток фотонов, мкмоль/с;
 E_{λ} – спектральная плотность распределения энергии излучения прибора, Дж/нм;
 λ – длина волны, нм;
 h – постоянная Планка;
 c – скорость света;
 N_A – число Авогадро.

Расчет квантовой эффективности излучателей в области ФАР производился по формуле 2:

$$\eta_{\text{Ф}} = \frac{F_{\text{ФАР}}}{P} \quad [18], \quad (2)$$

где $\eta_{\text{Ф}}$ – эффективность прибора в области ФАР, мкмоль/Дж;
 $F_{\text{ФАР}}$ – фотосинтетический поток фотонов, мкмоль/с;
 P – потребляемая прибором мощность, Вт.

Также из табл. 1 видно, что относительно ДНаЗ 250 Вт, светодиодные светильники меньше потребляют электроэнергию: Diora Unit Agro на 69,33%, Diora Quadro Agro на 57,16%.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

На рис. 3–5 приведены образцы огурцов в стендах с облучателями. На рис. 6 приведена фотография типовых огурцов, выросших в процессе исследо-

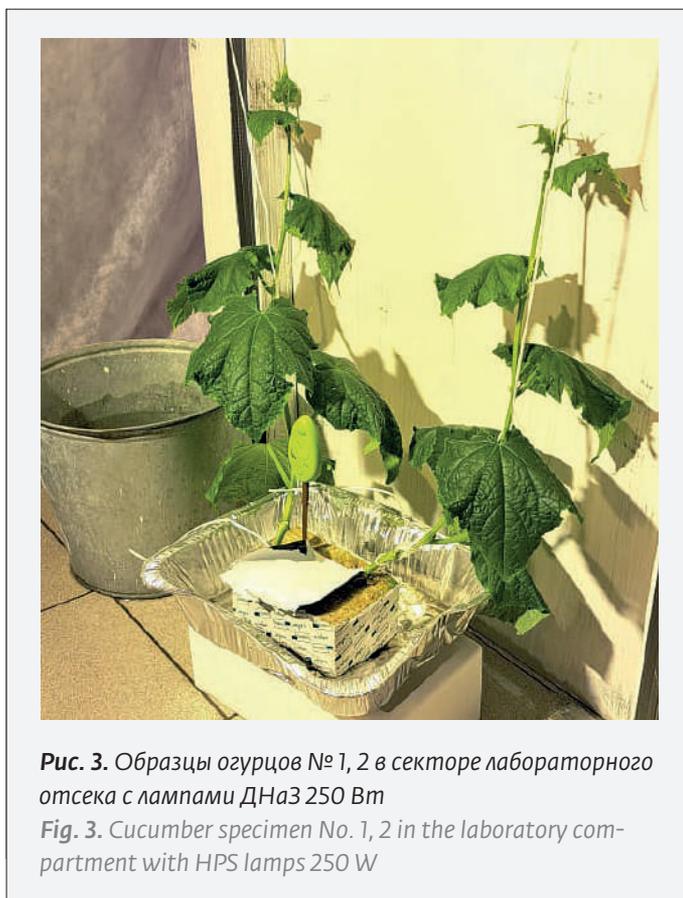


Рис. 3. Образцы огурцов №1, 2 в секторе лабораторного отсека с лампами ДНаЗ 250 Вт

Fig. 3. Cucumber specimen No. 1, 2 in the laboratory compartment with HPS lamps 250 W

DISCUSSION OF THE EXPERIMENTAL RESULTS

Figures 3–5 show the cucumber specimen on the benches with irradiation devices. Figure 6 demonstrates a photograph of typical cucumbers grown during the research. Table 2 indicates the number of picked cucumber fruits and the height of sample stems. Figures 7–9 show the radiation spectra of the irradiators.

The spectral structure of the irradiation devices differ from each other. The spectral structure of HPS radiation is mostly in the long-wavelength region of the optical range of 570–630 nm. In other words, HPS emits the light quanta in the red region of the visible spectrum. The Diora Unit Agro irradiator has emission peaks in the blue (450 nm) and red (660 nm) regions, while the red region of the spectrum is about 10 times more intense. The Diora Quadro Agro irradiator also has a peak in the

Таблица 2. Количество собранных плодов огурцов и высота стеблей образцов

Table 2. Number of picked cucumber fruits and the specimen stem height

Наименование	ДНаЗ 250 Вт		Diora Unit Agro		Diora Quadro Agro	
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
Количество собранных плодов огурцов, шт Number of picked cucumber fruits, pcs.	2	2	2	2	3	2
Высота стебля, мм Stem height, mm	2220	2900	2600	2750	2170	1200



Рис. 4. Образцы огурцов № 3, 4 в секторе лабораторного отсека со светодиодными облучателями Diora Unit Agro
Fig. 4. Cucumber specimen No. 3, 4 in the laboratory compartment with Diora Unit Agro LED irradiators



Рис. 5. Образцы огурцов № 5, 6 в секторе лабораторного отсека со светодиодными облучателями Diora Quadro Agro
Fig. 5. Cucumber specimen No. 5, 6 in the laboratory compartment with Diora Quadro Agro LED irradiators

ваний. В табл. 2 приведено количество собранных плодов огурцов и высота стеблей образцов. На рисунке 7-9 приведены спектры излучения облучателей.

Спектральный состав излучения облучателей отличаются друг от друга. Спектральный состав излучения ДНаЗ в большей степени составляет длинноволновая область оптического диапазона 570–630 нм. Другими словами, ДНаЗ излучает кванты света в красной области видимого спектра. Облучатель Diora Unit Agro имеет пики излучения в синей (450 нм) и красной (660 нм) области, при этом красный участок спектра примерно в 10 раз более интенсивный. Облучатель Diora Quadro Agro также имеет пик в красной (450 нм) и синей (660 нм) областях примерно в одинаковых пропорциях, но с добавлением сплошного спектра в зеленой области от 480 до 620 нм. Таким образом, имея разные спектральные характеристики облучателей, можно выявить наиболее эффективный для фотосинтеза спектральный состав.

Измерение спектральных характеристик излучения проводилось через 200–400 часов, чтобы

red (450 nm) and blue (660 nm) regions with approximately the same proportions, but with the addition of a continuous spectrum in the green region from 480 to 620 nm. Thus, having various spectral specifications



Рис. 6. Плоды, выращенные в экспериментальных отсеках и готовые к употреблению

Fig. 6. Fruits grown in the experimental compartments and ready to eat

отследить изменение спектрального состава в процессе эксплуатации.

По результатам исследований установлено, что больше всего плодов (5 шт.) было получено под излучением облучателя Diora Quadro Agro. Под излучением Diora Unit Agro и ДНаЗ 250 Вт было получено равное количество плодов, по 4 шт. в каждом отсеке. Также было установлено, что под излучением Diora Quadro Agro, несмотря на больший урожай, средняя длина стеблей оказалась огурца Мева F1 оказалась на 93 см меньше.

При исследовании деградации фотометрических характеристик облучателей было установлено, что за 1000 часов спектральный состав всех, применяемых в эксперименте облучателей, не изменился.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведен анализ современной научнотехнической литературы, подобраны спектры излучения светодиодных облучателей, и построена светотехническая модель для создания лабораторного стенда для исследования воздействия оптического излучения на процесс выращивания растений в условиях закрытого грунта на примере огурцов сорта Мева F1. Изготовлены экспериментальные образцы облучательных приборов на основе светодиодов. Проведены исследования экспериментальных образцов облучательных приборов на основе светодиодов в сравнении с ДНаЗ по исследованию урожайности и изменению фотосинтетических характеристик в процессе эксплуатации. Установлено, что спектры излучения, в преимущественной степени в красной области, ускорили рост и производительность растений. Спектр излучения Diora Quadro Agro обеспечивает продуктивность растений при меньшем росте стебля растений. Установлено, что в ходе исследований спектры излучения облучательных приборов и их фотосинтетический поток существенно не изменились, и что дальнейшее исследование деградации облучателей требует более углубленного изучения с большим временем эксплуатации. Наиболее подходящими для выращивания растений огурца «Мева F1» являются облучатели Diora Quadro Agro.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Official website of the Security Council of the Russian Federation. URL: <http://www.scrf.gov.ru/security/economic/document108>.
2. Official website of the Information and analytical agency "Institute of Agricultural Market Studies". URL: <http://ikar.ru/lenta/754.html>.
3. Official website of the "Greenhouse industry of Russia – 2022". URL: <https://www.apk-news.ru/teplichnaya-otrasl-rossii-2022-3>.

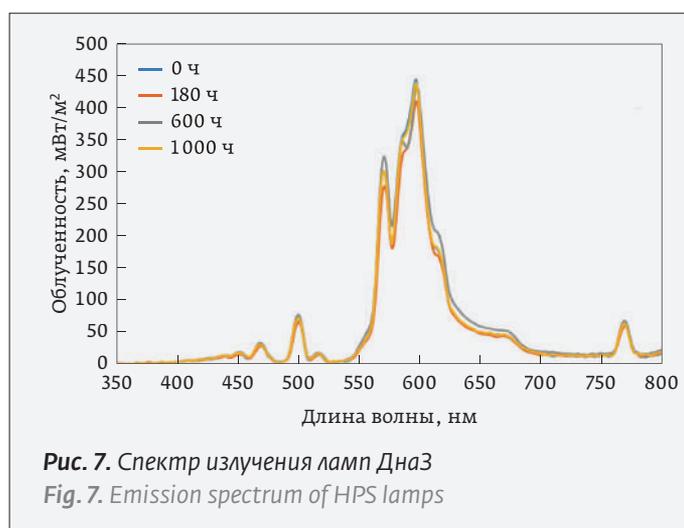


Рис. 7. Спектр излучения ламп ДнаЗ

Fig. 7. Emission spectrum of HPS lamps

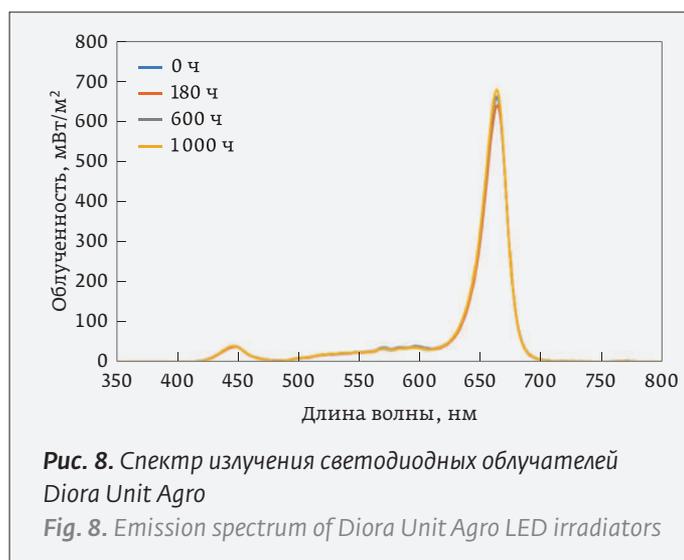


Рис. 8. Спектр излучения светодиодных облучателей

Diora Unit Agro

Fig. 8. Emission spectrum of Diora Unit Agro LED irradiators

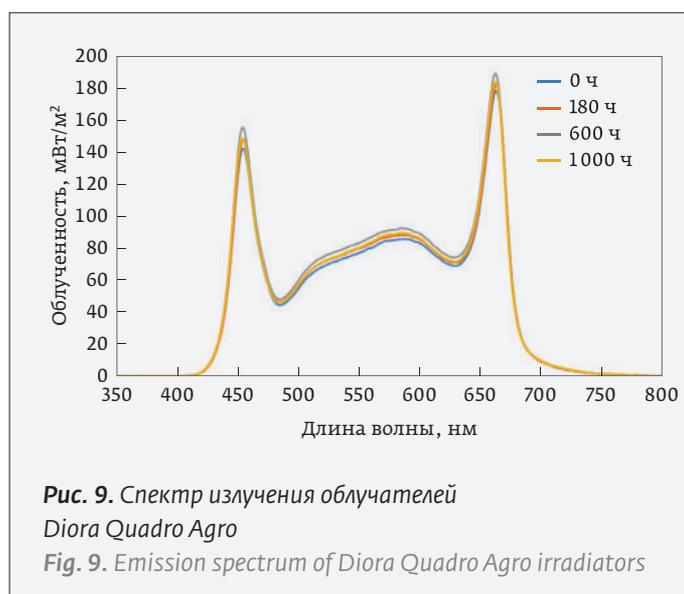


Рис. 9. Спектр излучения облучателей

Diora Quadro Agro

Fig. 9. Emission spectrum of Diora Quadro Agro irradiators



4. **Gnezdova O. E., Chugunkova E. S.** Energoobespechenie teplichnykh hozyajstv s generaciej elektricheskoy i teplovoj energii i vyrobotoj CO₂. *Silovoe i energeticheskoe oborudovanie. Avtonomnye sistemy.* 2019; 2(3):141–151.
Гнездова О. Е., Чугункова Е. С. Энергообеспечение тепличных хозяйств с генерацией электрической и тепловой энергии и выработкой CO₂. *Силовое и энергетическое оборудование. Автономные системы.* 2019; 2(3):141–151. <https://doi.org/10.32464/2618-8716-2019-2-3-141-151>.
5. Official website of the LLC "MOST Production" URL: <https://reflaks.ru/catalog/natrievye-zerkalnye-lampy-dnaz.html>.
6. **McCree K. J.** The action spectrum, absorptance and quantum yield of photosynthesis in crop plants. *Agricultural Meteorology.* 1972; 9:191–216. [https://doi.org/10.1016/0002-1571\(71\)90022-7](https://doi.org/10.1016/0002-1571(71)90022-7).
7. **Soldatkin V., Yuldashova L., Shardina A., Shkarupo A., Mikhilchenko T.** Device for water disinfection by ultraviolet radiation. *Proceedings – 2020 7th International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects.* EFRE 2020. 2020; 9242002:870–873. <https://doi.org/10.1109/EFRE47760.2020.9242002>.
8. **Höll J., Lindner S., Walter H., Joshi D. et al.** Impact of pulsed UV-B stress exposure on plant performance: How recovery periods stimulate secondary metabolism while reducing adaptive growth attenuation. *Plant Cell Environ.* 2019; 42(3):801–814. <https://doi.org/doi:10.1111/pce.13409>.
9. **Pattison P. M., Tsao J. Y., Brainard G. C., Bugbee B.** LEDs for photons, physiology and food. *Nature.* 2018; 563(7732):493–500. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0706-x>.
10. **Park SW, Kwack Y, Chun C.** Growth and propagation rate of strawberry transplants produced in a plant factory with artificial lighting as affected by separation time from stock plants. *Hort Environ Biotechnol.* 2018; 59:199–204. <https://doi.org/10.1007/s13580-018-0027-x>
11. **Meng X, Wang Z, He S, Shi L, Song Y, Lou X, He D.** LED-supplied red and blue light alters the growth, antioxidant status, and photochemical potential of in vitro-grown *Gerbera jamesonii* plantlets. *Hort Sci Technol.* 2019; 37:473–489. <https://doi.org/10.7235/HORT.20190048>
12. **Park SW, Kim SK, Kwack Y, Chun C.** Simulation of the number of strawberry transplants produced by an autotrophic transplant production method in a plant factory with artificial lighting. *Horticulturae.* 2020; 6:63. <https://doi.org/10.3390/horticulturae6040063>
13. **Lee, H., Park, S.W., Cui, M. et al.** Improvement of strawberry transplant production efficiency by supplementary blue light in a plant factory using white LEDs. *Hortic. Environ. Biotechnol.* 2023; <https://doi.org/10.1007/s13580-022-00493-9>
14. **Korol V. G., Borisov V. U.** Terms of cultivation for bee-pollinated cucumber karambol F1 in winter glass greenhouses. *Vegetable crops of Russia.* 2017; (3):49–51. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2017-3-49-51>.
15. **Khalifa S. A. M., Elshafey E. H., Shetaia A. A., El-Wahed A. A. A., Algethami A. F., Musharraf S. G. et al.** Overview of Bee Pollination and Its Economic Value for Crop Production. *Insects.* 2021; 12(8):688. <https://doi.org/10.3390/insects12080688>.
16. **Korol V. G.** Recommended cucumber hybrids for growing in greenhouses under conditions artificial lighting. *Vegetable crops of Russia.* 2021; (5):32–38. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-5-32-38>.
17. **Boos G. V., Prikupec L. B.** *Standartizaciya svetotekhnicheskikh priborov i ustanovok dlya teplic.* – ООО «ВНИСИ»: Svetotekhnika. 2017.
Боос Г. В., Прикупец Л. Б. *Стандартизация светотехнических приборов и установок для теплиц.* – ООО «ВНИСИ»: Светотехника. 2017.
18. **GOST R 57671-2017. Pribory obлучatel'nye so svetodiodnymi istochnikami sveta dlya teplic. Obshchie tekhnicheskie usloviya.** – М.: Standartinform. 2017.
ГОСТ Р 57671-2017. Приборы облучательные со светодиодными источниками света для теплиц. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ. 2017.

АВТОРЫ

Былков Денис Васильевич, инж. - светотехник АО «Физтех-Энерго». Разработал светотехнический проект лабораторного стенда для исследования воздействия оптического излучения на процесс выращивания растений, разработал эскизную конструкторскую документацию на светодиодные облучатели Diora Unit Agro и Diora Quadro Agro.

Полторацкий Дмитрий Алексеевич, техн. дир. АО «Физтех-Энерго». Разработал эскизную конструкторскую документацию на светодиодные облучатели Diora Unit Agro и Diora Quadro Agro., организовал проведение исследований влияния оптических параметров облучательных приборов на рост и урожайность растений.

of irradiators, it is possible to identify the most efficient spectral structure for photosynthesis.

The spectral specifications of radiation was measured after 200–400 hours in order to track any changes in the spectral structure during the period operation. According to the research results, it was found that most of the fruits (5 pcs.) were obtained when using the Diora Quadro Agro irradiator. Radiation of the Diora Unit Agro and HPS 250W was used to receive an equal number of fruits, namely 4 pcs. in each compartment. It was also found that under the radiation of Diora Quadro Agro, despite the larger yield, the average length of the Mewa F1 cucumber stems turned out to be 93 cm less.

When studying degradation of the photometric specifications of the irradiators, it was found that the spectral structure of all irradiation devices used in the experiment has not changed during 1000 hours.

CONCLUSION

The analysis of up-to-date scientific and technical literature was performed, the emission spectra of LED irradiation devices were selected and a lighting engineering model was developed to make a laboratory bench for studying the optical radiation effect on the plant growing process in the greenhouse conditions by the example of Mewa F1 cucumbers. The experimental prototypes of irradiators based on the light-emitting diodes have been prepared. The experimental prototypes of LED-based irradiation devices were studied in comparison with HPS to determine the yield and any changes in the photosynthetic specifications during operation. It was found that the emission spectra, mainly in the red region, accelerated the plant growth and performance. The emission spectrum of Diora Quadro Agro provides for the plant performance with less plant stem growth. It has been determined that during the studies, the emission spectra of irradiators and their photosynthetic flux have not changed significantly, and that the further examination of the degradation of irradiators requires a more in-depth study with a longer operating time. The most suitable irradiation devices for growing Mewa F1 cucumbers are Diora Quadro Agro.

AUTHORS

Bylkov Denis Vasilievich, lighting engineer at Phystech-Energo JSC. Developed a lighting engineering project of a laboratory bench to study the optical radiation effect on the plant growing process, developed the draft design documentation for Diora Unit Agro and Diora Quadro Agro LED irradiators.

Poltoratskiy Dmitriy Alekseevich, chief technical officer of Phystech-Energo JSC. Developed the draft design documentation for Diora Unit Agro and Diora Quadro Agro LED irradiators, arranged research into the effect of optical parameters of irradiators on the plant growth and performance.



Солдаткин Василий Сергеевич, к. т. н., доц. кафедры радиоэлектронных технологий и экологического мониторинга Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. Изготовил лабораторный стенд для исследования воздействия оптического излучения на процесс выращивания растений, обеспечил режимы проведения исследований влияния оптических параметров облучательных приборов на рост и урожайность растений.

Лазарева Алена Олеговна, инж. кафедры радиоэлектронных технологий и экологического мониторинга Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. Провела исследования воздействия оптического излучения на процесс выращивания растений.

Шкарупо Анастасия Петровна, ст. преп. кафедры радиоэлектронных технологий и экологического мониторинга Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. Провела исследования воздействия оптического излучения на процесс выращивания растений.

Щепеткин Егор Сергеевич, гл. энергетик ООО «КДВ Яшкинские Теплицы» осуществлял выбор сорта культуры огурца и осуществил технологическое сопровождение в процессе эксперимента в части разработки методик ухода и приготовления раствора для полива растений.

Soldatkin Vasily Sergeevich, Ph.D. in technical sciences, associate professor of the Department of Radioelectronic Technologies and Environmental Monitoring, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics. Prepared a laboratory bench for studying the optical radiation effect on the plant growing process, provided the research conditions to study the effect of optical parameters of irradiation devices on the plant growth and performance.

Lazareva Alena Olegovna, Engineer of the Department of Radioelectronic Technologies and Environmental Monitoring, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics. Conducted research on the effect of optical radiation on the plant growing process.

Shkarupo Anastasiia Petrovna, senior lecturer, Department of Radioelectronic Technologies and Environmental Monitoring, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics. Conducted research on the effect of optical radiation on the plant growing process.

Schetkin Egor Sergeevich, chief power engineer of KDV Yashkinskiye Teplitsy LLC, selected a variety of cucumber and provided process support during the experiment in terms of developing the care and solution preparation methods for plant watering.

LASYS больше не будет проводиться как отдельная торговая ярмарка

С момента премьеры в 2008 году выставочного мероприятия LASYS в Штутгарте (Германия) прошло 15 лет. Яркими событиями первых выставок стали волоконные лазеры и системы на их основе. Шел процесс внедрения лазеров в разные области применения, и лазерная индустрия активно развивалась. Ныне лазеры стали традиционными многофункциональными и гибкими инструментами для разных технологических процессов: в производстве автомобильных кузовов, аккумуляторов, медицинского инструментария, в полупроводниковой промышленности, при создании элементов солнечной энергетики. Теперь производители лазерных систем ищут новые области для их применения. За последние несколько лет

фокус внимания разработчиков лазеров сместился на другие важные для промышленности вопросы. В процессе поиска оптимальной конструкции находятся только EUV-лазеры. Более важными стали такие темы как цифровизация, автоматизация и производственные процессы с поддержкой искусственного интеллекта.

Чтобы учесть широкий спектр потенциальных применений, Messe Stuttgart решила использовать и целенаправленно развивать тему лазерной обработки материалов в промышленных условиях на иных тематических мероприятиях. Это означает, что LASYS больше не будет проводиться как отдельная торговая ярмарка.

Планируется, что теперь лазеры не будут представлены на отдельной выставочной платформе, а выделятся в тематические направления и содержания технических программ других промышленных торговых ярмарок и выставок: Quantum Effects, NORTEC, AMB, VISION, TecStyle Visions, Wetec и Molding Expo.

«Лазеры, оптика и фотоника по-прежнему чрезвычайно важны для Messe Stuttgart. Мы хотим использовать наши сети для преобразования наших контактов и предоставления тематическим областям платформы, которой они заслуживают» – резюмировал Себастьян Шмид, вице-президент Messe Stuttgart.

www.messe-stuttgart.de

Атомные часы в международной шкале времени

Сегодня международная шкала времени формируется на основе данных более 80 лабораторий и эталонов по всему миру. На их основе Международное бюро мер и весов (МБМВ) рассчитывает Международную шкалу времени (UTC). При этом при определении вклада каждой лаборатории учитывается как точность расчетов, так и достоверность предоставляемых данных. С 2022 года, согласно циркулярам МБМВ, Российская Федерация стала впервые в истории вносить наиболее существенный вклад в формирование международной шкалы времени UTC – около 20 процентов, что свидетельствует не только о высоких технических характеристиках точности российской лаборатории времени, но и о высокой степени доверия международного научного сообщества к российской метрологии. Ранее лидерами в этой области долгое время считались США.

Полученных результатов удалось достигнуть за счет совершенствования Государственного первичного эталона единиц времени, частоты и нацио-

нальной шкалы времени, в том числе, за счет создания атомных стандартов частоты нового поколения – водородных стандартов частоты, стандартов частоты фонтанного типа, оптических стандартов частоты.

Разрабатываемое новое поколение атомных часов, в том числе, оптических, точность которых в разы превышает точность существующих систем, позволит в ближайшие 10 лет формировать национальную шкалу времени РФ на уровне лучших мировых лабораторий

Сегодня оптические стандарты частоты позволяют определять секунду с точностью лучше $1 \cdot 10^{-17}$. Такая точность позволяет полностью удовлетворить требования потребителей, для которых информация о точном времени критически необходима: навигация, связь, телекоммуникации, развитие технологий цифровой трансформации экономики, новые виды беспилотного транспорта.

www.rst.gov.ru

weldex

22-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ
ВЫСТАВКА СВАРОЧНЫХ
МАТЕРИАЛОВ, ОБОРУДОВАНИЯ
И ТЕХНОЛОГИЙ

10–13
ОКТАБРЯ 2023

МОСКВА
КРОКУС ЭКСПО

ПОЛУЧИТЕ
БЕСПЛАТНЫЙ БИЛЕТ
ПО ПРОМОКОДУ
tehnosphaera



5 ПРИЧИН ПОСЕТИТЬ ВЫСТАВКУ:

- ВЖИВУЮ ОЦЕНИТЬ ШИРОКИЙ АССОРТИМЕНТ СВАРОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ И МАТЕРИАЛОВ
- НАЙТИ НОВЫХ ПОСТАВЩИКОВ С БОЛЕЕ ВЫГОДНЫМИ УСЛОВИЯМИ ЗАКУПОК
- УКРЕПИТЬ ОТНОШЕНИЯ С ТЕКУЩИМИ ПАРТНЕРАМИ
- ЛИЧНО ВСТРЕТИТЬСЯ С ТОП-МЕНЕДЖЕРАМИ КОМПАНИЙ И ПРОВЕСТИ ПЕРЕГОВОРЫ
- ИЗУЧИТЬ ОБОРУДОВАНИЕ В ДЕЙСТВИИ, ПОЛУЧИТЬ КОНСУЛЬТАЦИЮ ТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛИСТОВ



ОРГАНИЗАТОР
ORGANISER

WELDEX.RU



+7 (499) 750-08-28
weldex@ite.group

Официальная
поддержка:



Генеральный
информационный
партнер:



Журнал
«Сварочное производство»