

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 535-31:633.1

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-4-59-67>

Выбор источника для УФ-облучения зерна на установке ленточного типа

В.Ю. Страхов¹✉, В.Ф. Сторчевой², Ю.В. Саенко³, Н.Е. Кабдин⁴^{1,3} Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина; Белгородская обл., Белгородский район, п. Майский, Россия^{2,4} Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия¹ strakhov.94@list.ru ✉; <https://orcid.org/0009-0003-7559-3154>² v.storcheyov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6929-3919>³ yuriy311300@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2750-7090>⁴ energo-nek@rgau-msha.ru

Аннотация. В технологии обработки зерна перед проращиванием высокий бактерицидный эффект наблюдается при обеззараживании зерна ультрафиолетовым излучением. Обработка зерна, семян и обеззараживание пищевой продукции целесообразны с помощью линейных источников излучения. Однако отсутствуют исследования по выбору линейного источника и его размещению с учетом конструктивных особенностей проектируемого устройства. Исходя из этого авторами обоснован выбор линейного источника облучения для ультрафиолетовой обработки зерна на установке ленточного типа. Для реализации метода ультрафиолетовой обработки в подвижных установках ленточного типа предложена математическая модель расчета энергетической освещенности от линейного источника ультрафиолетового излучения с учетом высоты подвеса, мощности, длины источника излучения и рекомендуемого уровня энергетической освещенности ленты транспортера не менее 9 Вт/м². Проведен эксперимент, в ходе которого исследовались лампы типа ДКБУ-7 и Uniel ESL-36. УФ-лампу с отражателем размещали на различных контрольных расстояниях над зоной облучения. С учетом конструктивных особенностей установки ленточного типа ширина зоны обработки составляла 200 мм, высота подвеса источника облучения – 100 мм, длина зоны обработки – 1200 мм. Замеры параметров энергетической освещенности производили с использованием трехканального УФ-радиометра «ТКА-ПКМ». Расхождение расчетных и экспериментальных значений энергетической освещенности не превысило 5%, что позволило утверждать адекватность предложенной модели. Анализ распределения энергетической освещенности поверхности в пределах ширины транспортной ленты показал целесообразность использования лампы типа Uniel ESL-36 мощностью 36 Вт. Предпочтительным является использование параболического отражателя из травленного алюминия размером, равным ширине зоны обработки.

Ключевые слова: выбор источника для УФ-облучения зерна, обработка зерна перед проращиванием, энергетическая освещенность, математическая модель расчета энергетической освещенности, отражатель

Для цитирования: Страхов В.Ю., Сторчевой В.Ф., Саенко Ю.В., Кабдин Н.Е. Выбор источника для УФ-облучения зерна на установке ленточного типа // *Агроинженерия*. 2024. Т. 26, № 4. С. 59-67. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-4-59-67>

ORIGINAL PAPER

Selecting the source of the UV irradiation of grain in the belt-type plant

V.Yu. Strakhov¹, V.F. Storchevoy², Yu.V. Saenko³, N.E. Kabdin⁴^{1,3} Belgorod State Agrarian University named after V.Y. Gorin; Belgorod region, Belgorod district, Mayskiy, Russia^{2,4} Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Moscow, Russia¹ strakhov.94@list.ru; <https://orcid.org/0009-0003-7559-3154>² v.storchevoy@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6929-3919>³ yuriy311300@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2750-7090>⁴ energo-nek@rgau-msha.ru

Abstract. When treating grain before germination, high bactericidal effect is observed if grain is disinfected with ultraviolet (UV) irradiation. It is expedient to treat grain and seeds and disinfect food products with the help of linear irradiation sources. However, there are no studies on the determination of a linear source and its location, taking into account the design features of the considered device. Proceeding from this, the authors justified the choice of a linear irradiation source for UV treatment of grain on the belt-type unit. To implement the method of UV treatment in mobile belt-type units, they suggest a mathematical model for calculating the energy illumination from a linear source of UV radiation, taking into account the suspension height, power, length of the irradiation source and the recommended level of energy illumination of the conveyor belt not less than 9 W/m². The experiment was conducted to study the performance of the lamps of DKBU-7 and Uniel ESL-36 types. A UV lamp with reflector was placed at different control distances above the irradiation zone. Taking into account the design features of the belt-type unit, the authors chose the width of the treatment zone of 200 mm, the height of the irradiation source suspension of 100 mm, and the length of the treatment zone of 1200 mm. Energy illumination parameters were measured using a three-channel UV-radiometer “TKA-PKM”. The discrepancy between the calculated and experimental values of energy illumination did not exceed 5%, which proved the adequacy of the proposed model. The analysis of the distribution of energy illumination of the surface within the width of the conveyor belt showed the expediency of using a lamp of the Uniel ESL-36 type with the power of 36 W. The use of a parabolic reflector made of etched aluminum with the size equal to the width of the processing zone is preferable.

Keywords: selecting a source of UV-irradiation of grain, grain treatment before germination, energy illumination, mathematical model for calculating energy illumination, reflector

For citation: Strakhov V.Y., Storchevoy V.F., Saenko Y.V., Kabdin N.E. Selecting the source of the UV irradiation of grain in the belt-type plant. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2024;26(4):59-67. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-59-67>

Введение

Исследования отечественных и зарубежных ученых и специалистов в отрасли кормопроизводства свидетельствуют о повышении питательной ценности рационов путем введения в корма пророщенного зерна, содержащего ряд незаменимых витаминов, микроэлементов, ферментов и минеральных веществ [1-4]. Животные более охотно поедают корма с содержанием пророщенного зерна.

При подготовке зерна к проращиванию для снижения общей микробной обсемененности, плесени и грибов на поверхности зерна в существующих технологиях применяют химическую обработку в виде замачивания массы в растворе перманганата калия, что характеризуется длительностью обработки и высокими затратами труда. Химическая обработка зерна перед проращиванием неполностью устраивает аграриев вследствие негативного влияния химических препаратов на окружающую среду и высокой

стоимости обработки [5-7]. В мировой практике прослеживается тенденция перехода от химической обработки к более экологичным технологиям: использованию СВЧ-излучения, ИК-обработки, УФ-облучения, озонирования, к применению электрических полей постоянного тока и лазерной обработки [8, 9].

Высокий бактерицидный эффект коротковолнового диапазона излучения позволяет применять ультрафиолетовое излучение зерна перед проращиванием. Ультрафиолетовая обработка приводит к снижению патогенной микрофлоры и увеличению срока хранения продукции за счет сокращения численности микроорганизмов, вызывающих порчу пищевых продуктов, уничтожению различных паразитарных организмов на поверхности зерна и продуктов растительного происхождения, повышению всхожести и урожайности культур, увеличению вегетативной массы [10-12].

Ультрафиолетовая обработка отличается технологичностью, простотой конструкции и возможностью

легкого внедрения в существующие производственные процессы. Установка, реализующая ультрафиолетовую обработку, должна обеспечивать соблюдение заданных режимов, равномерность облучения и точность процесса. Существующие конструкции установок для ультрафиолетовой обработки семян, зерна и продуктов пищевой промышленности имеют накопительный бункер, транспортирующий узел, элемент для разравнивания слоя, узел для перемешивания продукции при обработке и источник ультрафиолетового излучения. В существующих установках для ультрафиолетовой обработки зерна чаще всего используют точечные источники ультрафиолетового излучения. В процессе проектирования ключевой задачей является выбор источника УФ-облучения зерна с учетом конструктивных особенностей установки [13, 14].

Рассмотрим отдельные математические модели, оценивающие параметры ультрафиолетового облучения при использовании точечных источников.

Облученность поверхности пшеницы Н.Е. Пономарева предлагает рассчитывать по выражению [15]:

$$E_s = 0,64 \cdot k_{\text{пр}} \cdot \frac{I_{\text{эа}} \cos^2 \alpha}{h^2}, \quad (1)$$

где $k_{\text{пр}}$ – коэффициент пропускания потока; $I_{\text{эа}}$ – сила излучения лампы, Вт·ср⁻¹; h – высота подвеса ультрафиолетовой лампы, м.

В предложенной математической модели для определения коэффициента пропускания $k_{\text{пр}}$ используют закон Буржера-Ламберта.

Расчет дозы облучения зерна на ленточном транспортере И.Р. Владыкин предлагает проводить по выражению [16]:

$$H_{\text{пер}} = \frac{2 \cdot k_{\text{ф}} \cdot I_o}{h \cdot V} \sin(\arctan(L/h)), \quad (2)$$

где $k_{\text{ф}}$ – коэффициент формы; I_o – сила излучения под источником облучения, Вт; h – высота подвеса источника облучения, м; V – скорость перемещения зерна, м/с; L – длина зоны облучения, м.

Для расчета дозы ультрафиолетового облучения в подвижных установках по методике Ю.М. Жилинского предлагается выражение [16]:

$$H_{\text{пер}} = 0,5 \cdot \frac{k_{\text{ф}} \cdot I_o}{h \cdot V} \cdot \left(\frac{\alpha \pi}{90} + \sin 2\alpha \right), \quad (3)$$

где $k_{\text{ф}}$ – коэффициент формы; I_o – сила излучения под центром источника облучения, Вт; h – высота подвеса источника облучения, м; V – скорость перемещения, м/с.

Математические модели (1), (2) и (3) просты и удобны в расчете параметров ультрафиолетового облучения при использовании точечных источников излучения. Однако они неприменимы для расчета

линейных источников излучения в виде трубчатых ультрафиолетовых ламп, используемых для обработки семян, зерна, обеззараживания поверхностей и пищевой продукции. Линейные источники излучения отличаются длительным сроком службы, низкой себестоимостью и большей удельной мощностью по сравнению с точечными источниками. В научной литературе отсутствует информация о выборе линейного источника и его размещении с учетом конструктивных особенностей проектируемого устройства.

Цель исследований: выбор источника для УФ-облучения зерна на установке ленточного типа и обоснование выбора линейного источника облучения.

Материалы и методы

Ультрафиолетовая обработка зерна перед проращиванием производилась на установке ленточного типа. Конструкция установки состоит из бункера для зерна, ленточного транспортера, привода ленточного транспортера, преобразователя частоты для управления скоростью перемещения ленты, разравнивателя слоя зерна, источника ультрафиолетового облучения, отражателя, рамы.

С учетом предварительно проведенных исследований были получены исходные данные для выбора линейного источника облучения для ультрафиолетовой обработки зерна на установке ленточного типа. В ходе исследований использовались основные законы светотехники и тригонометрии. Рекомендуемая энергетическая освещенность поверхности ленты транспортера должна составлять не менее 9 Вт/м². С учетом конструктивных особенностей установки ленточного типа ширина зоны обработки составляет 200 мм, высота подвеса источника облучения – 100 мм, длина зоны обработки – 1200 мм.

Линейный источник излучения длиной L размещен вдоль оси z предполагаемой ленты транспортера на высоте h (рис. 1). В пределах длины зоны обработки B выделены 3 участка: I , II и III . Поток излучения формируется непосредственно под источником и частично попадает на участки I и III в границах b_1 и b_2 . Точки A_1 , A_2 , A_3 принадлежат границам участков.

Предлагаемую математическую модель для определения облученности в расчетной точке A под излучателем можно представить как

$$E_A(\alpha, \varphi) = \frac{F}{4\pi L h} \cdot \cos^2 \varphi \cdot \frac{1}{4} [2\alpha_1 + \sin 2\alpha_1 - 2\alpha_2 - \sin 2\alpha_2], \quad (4)$$

где F – мощность источника излучения, Вт; L – длина линейного источника излучения, м; φ – угол, определяющий направление от участка линейного источника Δz до облучаемой точки A ; h – расстояние от источника излучения до зоны обработки, м; α_1, α_2 – угол, соответствующий крайним точкам границ.

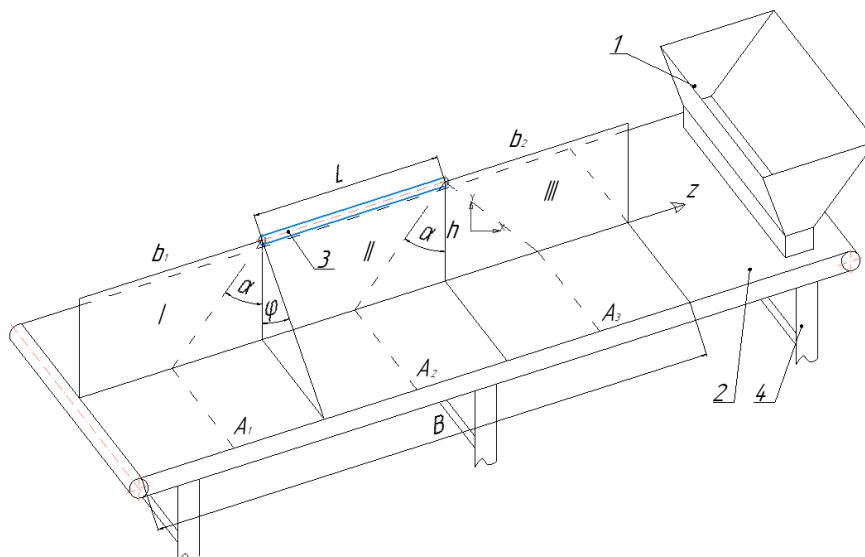


Рис. 1. Расчетная схема для моделирования распределения энергетической освещенности в пространстве от линейного источника облучения:

1 – бункер; 2 – лента транспортера; 3 – ультрафиолетовая лампа; 4 – рама; h – высота подвеса источника излучения; B – длина зоны обработки; I, II, III – участки в пределах зоны обработки; b_1, b_2 – границы зоны обработки; A_1, A_2, A_3 – границы участков; α, φ – соответственно углы, определяющие направление от участка линейного источника Δz до облучаемой точки A

Fig. 1. Calculation algorithm for modeling the spatial distribution of energy illumination from a linear irradiation source:

1 – hopper; 2 – conveyor belt; 3 – UV lamp; 4 – frame; h – suspension height of the radiation source; B – length of the treatment zone; I, II, III – areas within the treatment zone; b_1, b_2 – boundaries of the treatment zone; A_1, A_2, A_3 – boundaries of the sites; α, φ – angles determining the direction from the site of the linear source Δz to the irradiated points A , respectively

Полученное выражение (4) позволяет оценить распределение энергетической освещенности на облучаемой поверхности в зависимости от удельной мощности, длины линейного источника облучения, высоты подвеса и параметров зоны обработки.

Новизна модели заключается в том, что вся длина L линейного источника облучения представляется в виде множества малых участков с точными источниками света. Суммарную энергетическую освещенность получают путем интегрирования в пределах длины линейного источника излучения.

В светотехнике под точечным источником света понимают источник излучения совместно с отражателем. В расчетной схеме отражатель не изображен, при этом на практике поток излучения будет формироваться с применением отражателя.

Приведенная математическая модель (4), основанная на точечном методе расчета, с достаточной полнотой отражает физический процесс распределения энергетической освещенности на горизонтальной поверхности. Точность моделирования является достаточной для решения прикладных задач.

Для сопоставления теоретических и экспериментальных значений энергетической освещенности поверхности от линейного источника излучения был проведен эксперимент. В ходе эксперимента

источник ультрафиолетового излучения размещали на различных контрольных расстояниях над зоной облучения и производили замеры параметров энергетической освещенности. Для исключения посторонних воздействий УФ-лампа с отражателем подвешивалась в закрытом модуле. В модуль помещали фотометрическую головку измерительного прибора под центром УФ-лампы. Замеры проводились в трехкратной повторности с использованием трехканального УФ-радиометра «ТКА-ПКМ» (12).

Результаты и их обсуждение

В качестве источника ультрафиолетового облучения для установки ленточного типа рассматривались лампы мощностью 5, 7, 15, 20, 36 Вт, рекомендуемые для обеззараживания воздушной среды, поверхностей и различных материалов. Для оценки энергетической освещенности на поверхности ленточного транспортера произвольно выбрали два источника, отличающиеся по удельной мощности и длине. Технические характеристики выбранных источников приведены в таблице 1.

С учетом полученного выражения (4) построены расчетная поверхность и номограмма распределения энергетической освещенности под источником облучения для лампы типа ДКБУ-7 (рис. 2а) и лампы типа Uniel ESL-36 (рис. 2б).

Таблица 1

Технические характеристики источников ультрафиолетового излучения

Table 1

Technical characteristics of UV irradiation sources

Параметры / Parameters	Источник излучения / Irradiation source	
	ДКБУ-7 / DKBU-7	Uniel ESL-36
Длина волны излучения, нм / Wavelength of irradiation, nm	205...315	253,7
Мощность, Вт / Power, W	7	36
Напряжение в лампе, В / Voltage in the lamp, V	45±7	220
Габаритные размеры, мм / Overall dimensions, mm	123×38×25	411×45×25
Срок службы, ч / Service life, h	6000	8000

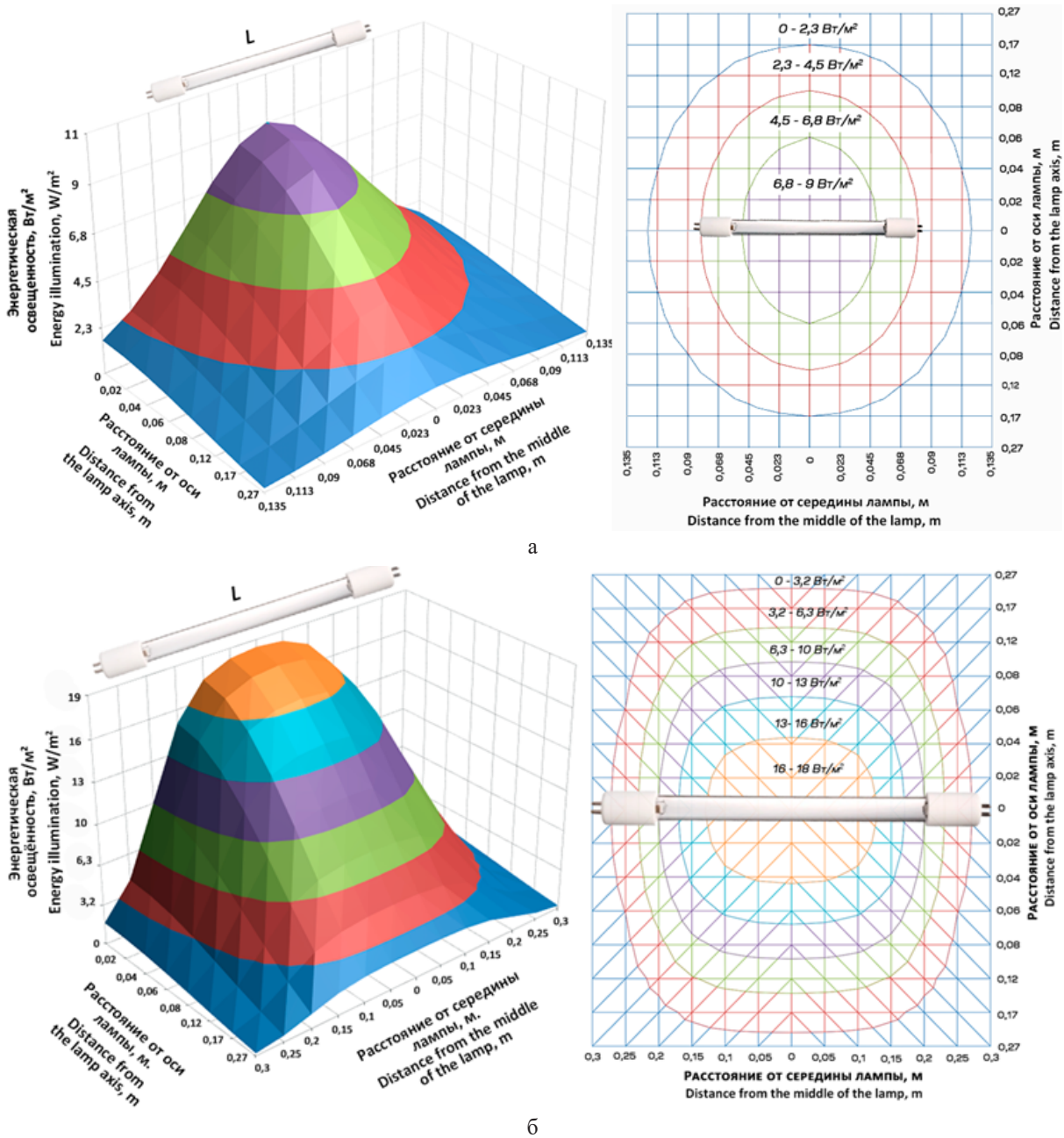


Рис. 2. Расчетная поверхность и номограмма энергетической освещенности, создаваемая линейным источником типа ДКБУ-7 (а) и Uniel ESL-36 (б)
Fig. 2. Calculated surface and nomogram of the energy illumination generated by a linear source of the DKBU-7 (a) and the Uniel ESL-36(b)

Анализируя полученные поверхности, можно сделать вывод о том, что при использовании лампы типа ДКБУ-7 с учетом ширины зоны обработки 200 мм рекомендуемое значение энергетической освещенности не менее 9 Вт/м² может быть обеспечено непосредственно под источником излучения с небольшим удалением от оси лампы до 3 см.

Применение более мощного источника излучения типа Uniel ESL-36 позволит обеспечить показатель энергетической освещенности не менее 9 Вт/м² на расстоянии до 10 см в обоих направлениях от оси лампы, что вполне соизмеримо с шириной ленточного конвейера.

Результаты расчетов распределения энергетической освещенности от линейного источника облучения могут быть использованы для выбора конструктивных параметров ленточного конвейера, оценки зон обработки, обеспечивающих гарантированную энергетическую освещенность под излучателем, определения взаимного расположения нескольких источников облучения с учетом пересечения и наложения зон энергетической освещенности.

Результаты практических измерений энергетической освещенности от источников ультрафиолетового излучения типа ДКБУ-7 и Uniel ESL-36 представлены на рисунке 3.

Сравнение экспериментальных и расчетных значений энергетической освещенности под центром лампы показало их расхождение (не более 5%), что позволяет считать полученную модель адекватной. Модель может применяться для предварительной оценки уровня энергетической освещенности на стадии проектирования при установленной мощности и длине линейного источника излучения.

Для перераспределения всего потока излучения от лампы в зону обработки рекомендуется использовать параболический отражатель. С учетом оптического свойства параболы излучение от источника, расположенного в фокусе параболы, будет отражаться параллельно ее оптической оси (рис. 4).

Главным условием для формирования отражения параллельно оптической оси параболы является расположение источника облучения в фокусе параболы. Для правильного размещения ультрафиолетовой лампы в отражателе выразим фокусное расстояние с учетом уравнения параболы. Высота свеса источника облучения h_c , см, определяется по выражению [17]:

$$h_c = \frac{2h}{(l/2)^2}, \quad (5)$$

где h – высота отражателя, см; l – ширина отражателя, см.

Ширину параболического отражателя рекомендуется выбирать равной ширине зоны обработки.

В качестве материалов для изготовления отражателей могут использоваться пластик, алюминий, оцинкованная и нержавеющая сталь. Наилучшими показателями отражения коротковолнового ультрафиолетового излучения диапазона УФ-С обладает травленный алюминий¹. Для волны длиной 254 нм коэффициенты отражения излучения наиболее распространенных материалов представлены в таблице 2.

Отражатели из травленного алюминия, помимо высокой отражающей способности, могут выдерживать высокую температуру, отличаются высокой прочностью, защищают источник излучения от механических повреждений.

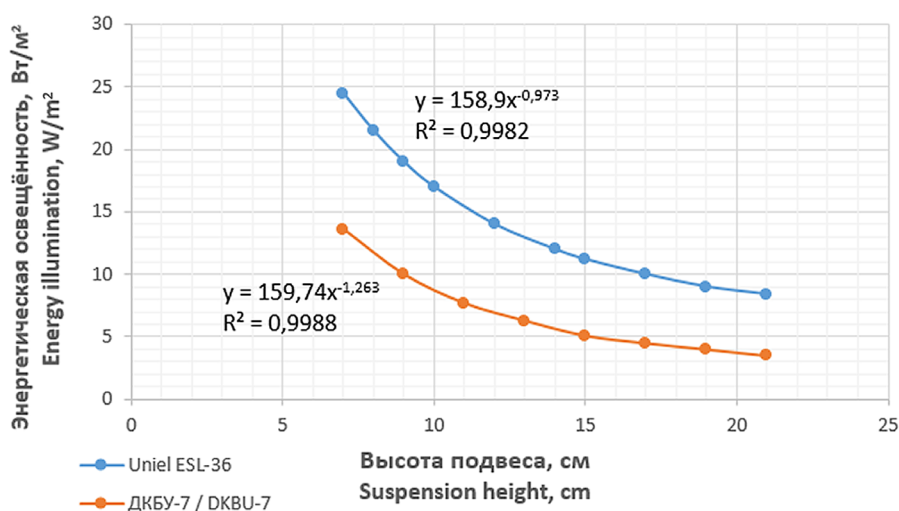


Рис. 3. Энергетическая освещенность поверхности

Fig. 3. Measurements of the energy illumination of the surface

¹ Кармазинов Ф.В., Костюченко С.В., Кудрявцев Н.Н. Ультрафиолетовые технологии в современном мире: Коллективная монография. Долгопрудный: Интеллект, 2012. 392 с. EDN: QNPZCN

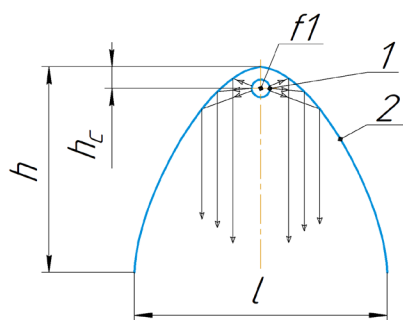


Рис. 4. Формирование излучения в параболическом отражателе:

h_c – высота свеса лампы; h – высота отражателя;
 l – ширина зоны обработки; f – фокус параболы

Fig. 4. Irradiation formation in a parabolic reflector:

h_c – overhang height; h – height of the reflector;
 l – width of the processed area; f – focus of the parabola

Выводы

1. Выбор источника для УФ-облучения зерна на установке ленточного типа осуществляется с учетом конструктивных особенностей проектируемого устройства и оценки энергетической освещенности источников излучения.

2. Предложенная математическая модель расчета энергетической освещенности линейных источников излучения в установках ленточного типа, учитывающая мощность, размер и высоту подвеса источника УФ-облучения, является адекватной. Расхождение

Список источников

1. Villeneuve S., Power K.A., Guevremont E., Mondor M., Tsao R., Wanasundara J.P.D., Zarepoor L., Mercier S. Short-Time Germination of Whole Flaxseed. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2014;39(6):1574-1586. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12385>
2. Elliott H., Woods P., Green B.D., Nugent A.P. Can sprouting reduce phytate and improve the nutritional composition and nutrient bioaccessibility in cereals and legumes? *Nutrition Bulletin*. 2022;47:138-156. <https://doi.org/10.1111/nbu.12549>
3. Herchi W., Bahashwan S., Sebei K., Ben Saleh H., Kallel H., Boukhchina S. Effects of germination on chemical composition and antioxidant activity of flaxseed (*Linum usitatissimum* L) oil. *Grasas y Aceites*. 2015;66(1):e057. <https://doi.org/10.3989/gya.0463141>
4. Pimenta A.V., Verediano T.A., Souza Carneiro J.C., Brunoro Costa N.M., Vasconcelos Costa A.G. Bioaccessibility and bioavailability of calcium in sprouted brown and golden flaxseed. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2021;101(7):2788-2798. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10908>
5. Климова Е.В. Влияние комплексного применения средств химизации на урожайность озимой пшеницы: применение азотных удобрений и средств защиты растений (фунгициды, гербициды) // Экологическая безопасность в АПК: Реферативный журнал. 2004. № 3. С. 667. EDN: HBGKJ
6. Пахомов В.И., Брагинец С.В., Пахомов А.И. Современные методы обеззараживания зерна и кормов // Инновационное развитие АПК России на базе интеллектуальных машинных технологий: Сборник научных докладов Международной научно-технической конференции, Москва, 17-18 сентября 2014 г.

Таблица 2
Коэффициенты отражения ультрафиолетового излучения для отдельных материалов

Table 2
UV reflection coefficients for individual materials

Материал / Material	Коэффициент отражения, % Reflection coefficient, %
Алюминий травленный / Etched aluminum	88
Алюминиевая фольга / Aluminum foil	73
Оцинкованная сталь / Galvanized steel	57
Хром / Chrome	45
Нержавеющая сталь / Stainless steel	30
Медь / Copper	7

расчетных и экспериментальных значений энергетической освещенности не превысило 5%.

3. Анализ распределения энергетической освещенности поверхности лампами типа ДКБУ-7 и Uniel ESL-36 в пределах ширины транспортной ленты 200 мм показал целесообразность использования лампы типа Uniel ESL-36 мощностью 36 Вт.

4. Предпочтительным является использование параболического отражателя из травленного алюминия размером, равным ширине зоны обработки.

References

1. Villeneuve S., Power K.A., Guevremont E., Mondor M., Tsao R., Wanasundara J.P.D., Zarepoor L., Mercier S. Short-Time Germination of Whole Flaxseed. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2014;39(6):1574-1586. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12385>
2. Elliott H., Woods P., Green B.D., Nugent A.P. Can sprouting reduce phytate and improve the nutritional composition and nutrient bioaccessibility in cereals and legumes? *Nutrition Bulletin*. 2022;47:138-156. <https://doi.org/10.1111/nbu.12549>
3. Herchi W., Bahashwan S., Sebei K., Ben Saleh H., Kallel H., Boukhchina S. Effects of germination on chemical composition and antioxidant activity of flaxseed (*Linum usitatissimum* L) oil. *Grasas y Aceites*. 2015;66(1):e057. <https://doi.org/10.3989/gya.0463141>
4. Pimenta A.V., Verediano T.A., Souza Carneiro J.C., Brunoro Costa N.M., Vasconcelos Costa A.G. Bioaccessibility and bioavailability of calcium in sprouted brown and golden flaxseed. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2021;101(7):2788-2798. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10908>
5. Klimova E.V. Effect of the complex application of chemicals on the yield of winter wheat. *Ekologicheskaya Besopasnost v APK = Environmental Safety in Agriculture*. 2004;3:667. (In Russ.)
6. Pakhomov V.I., Braginets S.V., Pakhomov A.I. Modern methods of disinfection of grain and feed. *Innovative development of the agroindustrial sector of Russia based on intelligent machine technologies. Proceedings of the International Scientific and Technical Conference, Moscow, September 17-18, 2014*. Moscow, All-Russian Scientific Research Institute of Agricultural Mechanization. 2014;30-34. (In Russ.)

М.: Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства, 2014. С. 30-34. EDN: TBBSEB

7. Ferreira C.D., Ziegler V., Schwanz Goebel J.T., Lang G.H., Elias M.C., de Oliveira M. Quality of grain and oil of maize subjected to UV-C radiation (254 nm) for the control of weevil (*Sitophilus zeamais* Motschulsky). *Journal of Food Processing and Preservation*. 2017;42(4):e13453. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13453>

8. Новикова Г.В., Сторчевой В.Ф., Просвирыкова М.В., Ершова И.Г., Горячева Н.Г. Научно-технические основы разработки установок с СВЧ-энергоподводом для переработки сырья агропредприятий // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2023. Т. 70, № 1 (50). С. 18-27. <https://doi.org/10.22314/2658-4859-2023-70-1-18-27>

9. Белов А.А., Сторчевой В.Ф., Михайлова О.В. Конструктивные особенности СВЧ-оборудования для термообработки фуражного зерна // *Известия ТСХА*. 2015. № 4. С. 115-121. EDN: SLA0BC

10. Страхов В.Ю., Вендин С.В., Саенко Ю.В. Результаты исследований по оценке влияния предпосевной УФ-обработки и режимов искусственного освещения при проращивании люпина на витаминный корм // *Агроинженерия*. 2021. № 3 (103). С. 36-42. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-3-36-42>

11. Кондратьева Н.П., Краснолуцкая М.Г., Ильясов И.Р., Климачева Т.Н., Духтанова Н.В., Зембеков Ю.С., Большин Р.Г. Результаты опытов по влиянию УФ облучения на семена, из которых выращивается зеленый корм на гидропонике // *Агротехника и энергообеспечение*. 2016. № 4-2 (13). С. 6-14. EDN: YHSQAJ

12. Юдаев И.В., Чарова Д.И., Феклистов А.С., Воротников И.Н., Габриелян Ш.Ж. Выращивание листового салата в светодиодной облучательной камере // *Сельский механизатор*. 2017. № 1. С. 20-21. EDN: XXMOZR

13. Страхов В.Ю., Вендин С.В., Саенко Ю.В. Предпосевная УФ-обработка семян сои: проращивание на витаминный корм // *Агроинженерия*. 2023. Т. 25, № 6. С. 46-52. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-6-46-52>

14. Вендин С.В., Саенко Ю.В., Страхов В.Ю. Результаты экспериментальных исследований по оценке эффективности применения УФ- облучения, СВЧ-обработки и искусственного освещения при проращивании зерна пшеницы и ячменя на витаминный корм // *Вестник аграрной науки Дона*. 2019. № 2 (46). С. 42-50. EDN: FDTBKS

15. Газалов В.С., Пономарева Н.Е. Способы повышения равномерности облучения семян в объемном электрооптическом преобразователе // *Электротехнологии и электрооборудование в сельскохозяйственном производстве*. 2007. Т. 1, № 6. С. 10-13. EDN: SAAICB

16. Кондратьева Н.П., Фокин В.В., Коломиец А.П., Владыкин И.Р. Методика для расчета дозы предпосевого облучения семян ультрафиолетовым излучением // *РГАЗУ – агропромышленному комплексу: Сборник научных трудов: В 2 ч. Ч. 2*. М.: Российский государственный аграрный заочный университет, 2000. С. 251-255. EDN: QDWFPD

17. Вендин С.В., Саенко Ю.В., Мартынов Е.А., Страхов В.Ю. Размещение источника ультрафиолетового облучения в параболическом отражателе: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021663552. Рос-сийская Федерация; Заяв. 06.08.2021; Оpubл. 18.08.2021. EDN: VJTEWP

7. Ferreira C.D., Ziegler V., Schwanz Goebel J.T., Lang G.H., Elias M.C., de Oliveira M. Quality of grain and oil of maize subjected to UV-C radiation (254 nm) for the control of weevil (*Sitophilus zeamais* Motschulsky). *Journal of Food Processing and Preservation*. 2017;42(4):e13453. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13453>

8. Novikova G.V., Storchevoy V.F., Prosviryakova M.V., Ershova I.G., Goryacheva N.G. Scientific and technical basis for the development of installations with microwave power supply for processing raw materials of agricultural enterprises. *Electrical Engineering and Electrical Equipment in Agriculture*. 2023;70(1):18-27. (In Russ.)

9. Belov A.A., Storchevoy V.F., Mikhailova O.V. Heat cornmeal in the electromagnet field of ultrahigh frequency. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2015;4:115-121. (In Russ.)

10. Strakhov V.Yu., Vendin S.V., Saenko Yu.V. Results of research to assess the effect of pre-sowing UV treatment and artificial lighting modes during lupine germination on vitamin feed. *Agricultural Engineering*, 2021;3:36-42. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-3-36-42>

11. Kondratyeva N.P., Krasnolukaya M.G. Ilyasov I.R. Results of experiments on influence of uf of radiation of seeds for cultivation of the green forage on hydroponics. *Agrotekhnika i Energoobespechenie*. 2016;4-2(13):6-14. (In Russ.)

12. Yudaev I.V. Charova D.Is., Feklistov A.S., Vorotnikov I.V., Gabrielyan Sh.Zh. Growing lettuce in the LED irradiation chamber. *Selskiy Mekhanizator*. 2017;1:20-21. (In Russ.)

13. Strakhov V.Y., Vendin S.V., Sayenko Y.V. Pre-sowing UV treatment of soybean seeds: sprouting for vitamin feed. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2023;25(6):46-52. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-6-46-52>

14. Vendin S.V., Saenko Yu.V., Strahov V.Yu. Results of experimental studies to assess the effectiveness of UV irradiation, microwave processing and artificial lighting during germination of wheat and barley grains for vitamin feed. *Don Agrarian Science Bulletin*. 2019;2:42-50. (In Russ.)

15. Gazalov V.S., Ponomareva N.E. Ways to increase the uniformity of seed irradiation in a volumetric electro-optical converter. *Elektrotekhnologii i Elektrooborudovanie v Selskokhozyaystvennom Proizvodstve = Electrotechnologies and Electrical Equipment in Agricultural Production*. 2007;6:10-13. (In Russ.)

16. Kondratyeva N.P., Fokin V.V., Kolomiets A.P., Vladyskin I.R. Methodology for calculating the dose of pre-sowing irradiation of seeds with UV radiation. *RGAZU – Agropromyshlennomy Kompleksu: collection of scientific papers*. Moscow, 2000;251-255. (In Russ.)

17. Vendin S.V., Saenko Yu.V., Martynov E.A., Strakhov V. Yu. Integration of an UV irradiation source in a parabolic reflector: Certificate of State Registration of PC software package No.2021663552 Russian Federation, 2021. (In Russ.)

Информация об авторах

Владимир Юрьевич Страхов¹, преподаватель;
strakhov.94@list.ru

Владимир Федорович Сторчевой², д-р техн. наук, профессор;
v.storchevoy@rgau-msha.ru;
<https://orcid.org/0000-0002-6929-3919>

Юрий Васильевич Саенко³, д-р техн. наук, профессор;
yuriy311300@mail.ru

Николай Егорович Кабдин⁴, канд. техн. наук, доцент;
energo-nek@rgau-msha.ru

^{1,3} Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина; 308503, Россия, Белгородская обл., Белгородский район, п. Майский, ул. Вавилова, 1

^{2,4} Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

Вклад авторов

В.Ю. Страхов – проведение исследований, визуализация, описание результатов и формирование выводов исследований;
В.Ф. Сторчевой – формулирование основной концепции исследований;
Ю.В. Саенко – разработка методологии исследований;
Н.Е. Кабдин – верификация данных, создание черновика рукописи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат.

Статья поступила в редакцию 29.01.2024; поступила после рецензирования и доработки 23.06.2024; принята к публикации 24.06.2024

Author Information

Vladimir Yu. Strakhov¹, lecturer; strakhov.94@list.ru

Vladimir F. Storchevoy², DSc (Eng), Professor;
v.storchevoy@rgau-msha.ru;
<https://orcid.org/0000-0002-6929-3919>

Yuri V. Saenko³, DSc (Eng), Professor; yuriy311300@mail.ru

Nikolay E. Kabdin⁴, CSc (Eng), Associate Professor

^{1,3} Belgorod State Agrarian University named after V.Y. Gorin;
Vavilova Str., 1, Mayskiy, Belgorod district, Belgorod region, 308503, Russian Federation

^{2,4} Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation

Author Contribution

V.Y. Strakhov – investigation, visualization, writing – original draft preparation (results and discussion, conclusion);
V.F. Storchevoy – conceptualization;
Y.V. Saenko – methodology;
N.E. Kabdin – data verification, writing – original draft preparation.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

Received 29.01.2024; revised 23.06.2024; accepted 24.06.2024