

EDN: YVNHUE

DOI: 10.22314/2073-7599-2026-20-1-11-18



Научная статья

УДК 631.344.5:628.94-529



Энергосберегающая технология облучения растений с использованием цифровых инженерных решений

Надежда Петровна Кондратьева¹,
доктор технических наук, профессор,
e-mail: aep_isha@mail.ru;

Кристина Андреевна Батурина¹,
старший преподаватель,
e-mail: kristiriska@mail.ru;

Роман Геннадьевич Большин²,
кандидат технических наук, доцент,
e-mail: bolshin.r@yandex.ru;

Лариса Анатольевна Пантелеева¹,
кандидат технических наук, доцент,
e-mail: panlar@bk.ru

¹Удмуртский государственный аграрный университет, г. Ижевск, Российская Федерация;

²МИРЭА-Российский технологический университет, Москва, Российская Федерация

Реферат. Отметим, что при выращивании сельскохозяйственных культур в защищенном грунте затраты на электроэнергию составляют около 20 процентов себестоимости продукции растениеводства. Определению эффективного спектра излучения для конкретных культур посвящены многие исследования. Вместе с тем, учитывая световую и темновую стадии фотосинтеза, можно предложить энергосберегающий импульсный режим облучения, сохраняющий продуктивность растений и не уменьшающий срок службы светодиодных облучательных установок (*LED OY*). (*Цель исследования*) Разработать цифровые инженерно-технические решения для реализации энергосберегающей технологии облучения растений *RGB* светодиодными облучательными установками. (*Материалы и методы*) Разработана автоматизированная цифровая система управления *RGB LED* светодиодных облучателей. Длительность светового импульса и темнового периода в режиме реального времени задается по беспроводной связи *Bluetooth* с подключением к микроконтроллеру модуля *Bluetooth HC-05* и управляется через мобильное приложение *Bluetooth Electronics*. Используется язык программирования *C++*. (*Результаты и обсуждение*) Эксперименты показали, что самое быстрое развитие растений наблюдалось в режиме длительности импульса света 1 секунда и паузы 0,5 секунды. Эффект подтверждается разницей по сравнению с контролем (100 процентов) площади листьев в конце и в начале эксперимента (приблизительно 108 процентов). Потребленная электроэнергия при работе *RGB LED* светодиодных облучателей по 16 часов в энергосберегающем режиме составит около 78 процентов от контрольного значения, принятого за 100 процентов. (*Выводы*) Разработанные цифровые инженерно-технические решения для реализации энергосберегающей технологии облучения растений в *RGB LED* установках позволяют экономить электроэнергию при сохранении продуктивности растений.

Ключевые слова: выращивание растений, защищенный грунт, облучение растений, светодиодные установки *RGB LED*, энергосбережение, цифровые технологии, беспроводная связь *Bluetooth*, автоматизированные системы управления, микроконтроллер.

■ **Для цитирования:** Кондратьева Н.П., Батурина К.А., Большин Р.Г., Пантелеева Л.А. Энергосберегающая технология облучения растений с использованием цифровых инженерных решений // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2026. N20. С. 11-18. DOI: 10.22314/2073-7599-2026-20-1-11-18. EDN: YVNHUE.

Scientific article

Energy-Efficient Plant Irradiation Technology Based on Digital Engineering Solutions

Nadezhda P. Kondrateva¹,
Dr.Sc.(Eng), professor,
e-mail: aep_isha@mail.ru;
Kristina A. Baturina¹,
senior teacher,
e-mail: kristiriska@mail.ru;

Roman G. Bolshin²,
Ph.D.(Eng.), associate professor,
e-mail: bolshin.r@yandex.ru;
Larisa A. Panteleeva¹,
Ph.D.(Eng.), associate professor,
e-mail: panlar@bk.ru

¹Udmurt State Agricultural University, Izhevsk, Udmurtia, Russian Federation;

²MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russian Federation

Abstract. The paper highlights that in protected cultivation of agricultural crops, electricity costs account for approximately 20 percent of the total crop production cost. Numerous studies have focused on identifying the optimal light spectrum for specific crops. At the same time, considering the light and dark phases of photosynthesis, it is possible to propose an energy-efficient pulsed irradiation mode that maintains plant productivity without reducing the service life of LED irradiation systems. (*Research purpose*) To develop digital engineering solutions for implementing an energy-saving plant irradiation technology based on RGB LED lighting systems. (*Materials and methods*) An automated digital control system for RGB LED irradiators was developed. The durations of the light pulse and the dark interval were set in real time via *Bluetooth* wireless communication using an *HC-05 Bluetooth* module connected to a microcontroller and controlled through the *Bluetooth Electronics* mobile application. The control algorithm was implemented in C++. (*Results and discussion*) The experimental results demonstrated that the most rapid plant development occurred under a light pulse duration of 1 second with a 0.5-second interval. The effect was confirmed by comparing leaf area growth relative to the control (100 percent) at the beginning and end of the experiment, with values reaching approximately 108 percent. According to calculations, electricity consumption during 16-hour operation of the RGB LED irradiators in energy-saving mode amounted to about 78 percent of the control value (set at 100 percent). (*Conclusions*) The developed digital engineering solutions for RGB LED-based plant irradiation systems enable energy savings while maintaining plant productivity, demonstrating their effectiveness for energy-efficient protected cultivation.

Keywords: plant cultivation, protected ground, plant irradiation, RGB LED lighting systems, energy efficiency, digital technologies, Bluetooth wireless communication, automated control systems, microcontroller.

■ **For citation:** Kondrateva N.P., Baturina K.A., Bolshin R.G., Panteleeva L.A. Energy-efficient plant irradiation technology based on digital engineering solutions. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2026. Vol. 20. N1. 11-18 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2026-20-1-11-18. EDN: YVNHUE.

При выращивании сельскохозяйственных культур в защищенном грунте затраты на электроэнергию составляют до 20% себестоимости готовой продукции. Анализ публикаций в этой области показывает, что во многих научных исследованиях определяли эффективный спектр светового освещения при выращивании конкретной культуры. Например, предложено устройство для искусственного освещения растений с использованием линейки светодиодов с излучением красного и синего спектров [1]. В другом случае применяется селекционный фитотрон, в котором размещены группы светодиодов с различными спектральными диапазонами [2]. В работе [3] предложена методика выбора технологического оборудования для производства рассады овощных культур в интенсивной светокультуре. Также рассматривается применение источников излучения для выращивания растений в домашних условиях [4]. Изучалось влияние спектра LED-облучательной установки с RGB-светодиодами на рост зеленого корма [5] и спектрального состава света на накопление фотосинтетических пигментов и урожайность зерновых культур при выращивании в контролируемых условиях [6]. Проводятся широкие исследования по разработке энергосберегающего освещения и его расчету с учетом спектра излучения оптических источников [7].

Вместе с этим, учитывая световую и темновую стадии фотосинтеза, можно предложить импульсный режим облучения, при котором экономится электроэнергия, но сохраняется продуктивность растений [8-11]. Для реализации такого режима облучения разработана карусельная установка с га-

зоразрядными лампами. Положительные результаты были получены в исследовании [9], но этот энергосберегающий режим не нашел применения на практике ввиду того, что из-за импульсного режима работы разрядных источников света резко сокращался срок их службы.

В настоящее время в растениеводстве широко используются светодиодные облучатели/лампы [12], которые могут работать в импульсном режиме без уменьшения срока службы [13, 14]. Современные цифровые технологии позволяют подобрать эффективное сочетание длительности светового импульса и темновой паузы индивидуально для исследуемой культуры в реальном времени через беспроводные интерфейсы и существенно снизить потребление электроэнергии [15]. Выращивание в культуре *in vitro* выбрано не случайно, так как сейчас перспективным методом получения безвирусного посадочного материала является меристемное размножение растений [16-18]. В лабораториях ФГБУН Удмуртского федерального исследовательского центра УрО РАН выращивают пробирочный картофель, малину, жимолость, виноград, розу и другие культуры.

При выращивании розы в культуре *in vitro* влияние RGB светодиодов, работающих в энергосберегающем (импульсном) режиме, практически не изучено. Разработка цифровых инженерных решений [19, 20] для реализации энергосберегающего режима при выращивании культуры розы *in vitro* под RGB светодиодами, работающими в энергосберегающем (импульсном) режиме облучения, представляет актуальную задачу.

Цель исследования: разработать цифровые инженерно-технические решения для реализации энергосберегающей технологии облучения растений RGB светодиодными облучательными установками.

Для выполнения поставленной цели необходимо:

- разработать автоматизированную цифровую систему управления работой RGB светодиодными установками (RGB LED) для реализации энергосберегающего режима облучения;
- используя разработанные цифровые инженерные устройства провести экспериментальные исследования выращивания розы в культуре *in vitro* и сравнить потребление электроэнергии RGB LED в разных режимах облучения.

Материалы и методы. Для реализации импульсного режима облучения RGB светодиодными облучательными установками (RGB LED ОУ) разработана программа на языке C++ для микроконтроллера Atmel 35473D. Управление и задание параметров импульсного режима (длительность светового и темнового импульсов) в режиме реального времени осуществляли с помощью беспроводной связи Bluetooth с подключением к микроконтроллеру модуля Bluetooth HC-05. Управление производится через мобильное приложение Bluetooth Electronics. В перспективе эту программу предлагается использовать на практике для облучения меристемных растений *in vitro* установками RGB LED в меристемных лабораториях.

Программа позволяет для конкретной культуры *in vitro* подобрать длительность импульсов света и темновой паузы, чтобы таким образом:

- активизировать процессы роста биомассы;
- улучшить укореняемость растений;
- уменьшить сроки готовности растений к пересадке в грунт.

Центральным элементом автоматизированной цифровой системы является управляющий модуль, который координирует работу всех компонентов. В состав системы входят: RGB-модуль, состоящий из LED; регулирующие транзисторы; индикаторный блок для визуального отображения режимов работы и интерфейс Bluetooth-связи для взаимодействия с внешними устройствами (рис. 1).

Инициализация системы начинается с калибровки управляющих пинов для RGB-светодиодов. На этом этапе устанавливаются базовые параметры интенсивности излучения, конфигурация режимов работы и верифицируется целостность всех компонентов системы.

Функциональные возможности системы реализуются через три основных модуля: спектральный, отвечающий за управление цветовыми характеристиками; временной, контролирующей длительность воздействия; интенсивный, регулирующий

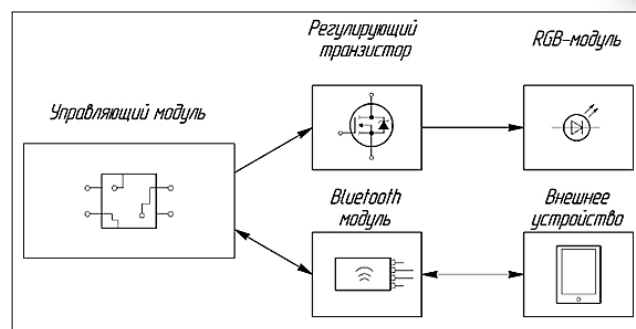


Рис. 1. Схема управления облучательной установкой RGB LED

Fig. 1. Control diagram of the RGB LED irradiation system

яркость излучения (ток LED).

Цифровая автоматизированная система предусматривает три основных режима функционирования установки: непрерывный, характеризующийся постоянной заданной облученностью; импульсный, с периодическим включением и выключением светодиодов; тестовый, предназначенный для проверки работоспособности всех компонентов.

К контролируемым параметрам цифровой системы относятся спектральный состав излучения (соотношение красного R, зеленого G и синего B света), величина облученности/освещенности и временные характеристики (длительность и частота импульсов). Визуальный контроль осуществляется через индикацию текущего режима работы, параметров режима облучения и сигнализацию о нештатных ситуациях.

Интеграционные возможности системы обеспечиваются наличием Bluetooth-модуля HC-05 для удаленного управления, протокола связи для обмена данными и API-интерфейса для интеграции с внешними системами (рис. 2).

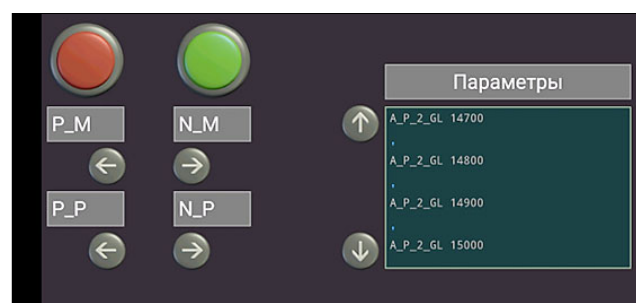


Рис. 2. Интерфейс управления параметрами установки с телефона

Fig. 2. Interface for controlling the unit parameters from a mobile phone

Включение/отключение программы осуществляется кнопками «Зеленая»/«Красная»; изменение длительности светового импульса и темновой паузы – кнопками «P_M» и «N_M»; изменение продолжительности коротких импульсов и одного длительного импульса – кнопками «P_P» и «N_P»;

увеличение или уменьшение уровня облученности – кнопками «Вверх» или «Вниз»; визуальный контроль регулируемых параметров через индикацию текущего режима работы осуществляется в окне «Параметры».

Меню после нажатия кнопки « P_M » подразделяется на выбор параметров импульса:

- P_P1 – длительность светового импульса (шаг изменения 100 миллисекунд). При использовании кнопок «Вверх»/«Вниз» в окне «Параметры» на дисплее появляются функции « $A_P_1_BF$ »/« $S_P_1_BF$ » (*blink frequency*);

- P_P2 – длительность темновой паузы (шаг 100 миллисекунд). При использовании кнопок «Вверх»/«Вниз» в окне «Параметры» на дисплее появляются функции: « $A_P_1_BF$ »/« $S_P_1_BF$ » (*blink frequency*). При этом, на первый взгляд, название одно, но функция регулирования паузы и импульса находится в меню интерфейса в разных вкладках;

- P_P0 – длительность импульсного режима работы установки (шаг 100 миллисекунд). При использовании кнопок «Вверх»/«Вниз» в окне «Параметры» на дисплее появляются функции: « $A_P_0_BL$ »/« $S_P_0_BL$ » (*blink length*).

Меню после нажатия кнопки « N_M » содержит только один параметр:

- N_P0 – продолжительность длинного непрерывного импульса (шаг 100 миллисекунд).

Основной алгоритм работы системы включает последовательность действий: инициализацию компонентов, верификацию параметров, реализацию выбранного режима фотостимуляции, мониторинг состояния и коррекцию параметров при необходимости.

Методология тестирования системы предусматривает также калибровку спектральных характеристик, верификацию временных параметров, проверку стабильности работы и тестирование интерфейсов управления.

Техническая реализация системы базируется на комплексном программно-аппаратном решении, включающем программный код для управления, драйверы устройств для взаимодействия с компонентами, библиотеки функций для реализации алгоритмов. На *рисунке 3* приведен фрагмент кода программы управления.

Таким образом, предложенное цифровое инженерно-техническое решение позволило реализовать непрерывно-импульсный энергосберегающий режим облучения растений.

Из *рисунка 4* видно, что в течение 30 с происходит импульсное облучение растений розы *in vitro*. Поэтому необходимо индивидуально подобрать длительность темновой паузы, так как роза относится к растениям длинного дня и продолжительность светового импульса мы оставили максимальной и равной 1 с.

```

1 4
2 5 class RGB_LED {
3 6 // Элементы, которые будут доступны из вне
4 7 public:
5 8 // Инициализатор объекта
6 9 RGB_LED(int r_pin, int g_pin, int b_pin, bool is_pwm)
7 10 : mode(this) {
8 11 this->r_pin = r_pin;
9 12 this->g_pin = g_pin;
10 13 this->b_pin = b_pin;
11 14 this->is_pwm = is_pwm;
12 15
13 16 pinMode(r_pin, OUTPUT);
14 17 pinMode(g_pin, OUTPUT);
15 18 pinMode(b_pin, OUTPUT);
16 19 }
17 20
18 21 void Power_Set(uint8_t newState = 0) {
19 22 if (newState == 0) {
20 23 this->Power_is_ON = false;
21 24 } else {
22 25 this->Power_is_ON = true;
23 26 }
24 27 }
25 28
26 29 void Light_Set(uint8_t newState = 0) {
27 30 if (Power_is_ON) {
28 31 if (newState == 0) {
29 32 this->light_is_on = false;
30 33 analogWrite(this->r_pin, 0);
31 34 analogWrite(this->g_pin, 0);
32 35 analogWrite(this->b_pin, 0);
33 36 } else {
34 37 this->light_is_on = true;
35 38 analogWrite(this->r_pin, this->r_value);
36 39 analogWrite(this->g_pin, this->g_value);
37 40 analogWrite(this->b_pin, this->b_value);
38 ..

```

Рис. 3. Фрагмент кода управляющей программы
Fig. 3. Fragment of the control program code

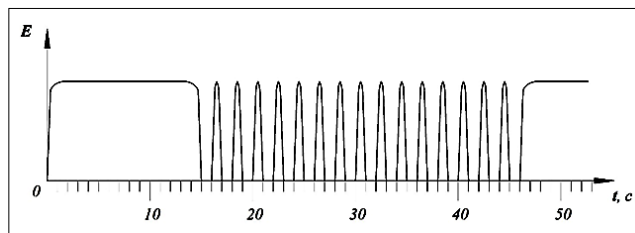


Рис. 4. Структурная схема непрерывно-импульсного энергосберегающего режима облучения растений, состоящего из циклического чередования одного светового импульса длительностью 15 с и с последующей чередой коротких импульсов в течение 30 с

Fig. 4. Block diagram of a continuous–pulse energy-saving plant irradiation mode consisting of cyclic alternation of a single light pulse with a duration of 15 seconds and a subsequent series of short pulses over a 30 seconds period

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Проведено сравнение трех режимов облучения растений одинакового спектрального состава (*табл. 1*):

1-й – контроль RGB LED облучающей установки, работающей в непрерывном (традиционном) режиме ($RGB_{\text{контр}}$);

2-й – импульсный на RGB LED ОУ: время светового импульса и темновой паузы по 1 с ($RGB_{\text{имп1}}$);

3-й – импульсный на RGB LED ОУ: время светового импульса 1 с, темновой паузы 0,5 с ($RGB_{\text{имп2}}$).

В каждом опыте было 33 растения. Опыты проводились в 4-кратной повторности для получения достоверных результатов. Эксперимент продолжался

Таблица 1

Table 1

МОНИТОРИНГ НАРАСТАНИЯ ПЛОЩАДИ ЛИСТЬЕВ РОЗЫ IN VITRO В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РЕЖИМА ОБЛУЧЕНИЯ
MONITORING OF THE INCREASE IN THE AREA OF ROSE LEAVES IN VITRO DEPENDING ON THE IRRADIATION REGIME

Номер пятидневки	$RGB_{непр}$		$RGB_{имп1}$		$RGB_{имп2}$	
	E , лк	S , мм ²	E , лк	S , мм ²	E , лк	S , мм ²
1	2421 ± 0,21	2,42 ± 0,19	2405 ± 0,16	2,36 ± 0,07	2367 ± 0,19	2,47 ± 0,16
2	2343 ± 0,29	2,69 ± 0,22	2356 ± 0,21	2,63 ± 0,19	2236 ± 0,21	2,8 ± 0,13
3	2339 ± 0,2	3,07 ± 0,15	2343 ± 0,29	2,96 ± 0,26	2321 ± 0,17	3,19 ± 0,11
4	2337 ± 0,26	3,25 ± 0,16	2335 ± 0,23	3,1 ± 0,17	2312 ± 0,21	3,44 ± 0,19
5	2304 ± 0,25	3,43 ± 0,16	2304 ± 0,25	3,22 ± 0,16	2302 ± 0,26	3,56 ± 0,19
Среднее значение	мм ²	2,972	–	2,854	–	3,092
Сумма S за 5 пятидневок	мм ²	14,86	–	14,27	–	15,46
	%	100	–	96,03	–	104,04
Разность $S_5 - S_1$	мм ²	1,01	–	0,86	–	1,09
	%	100	–	85,15	–	107,92

Условные обозначения: E – облученность, лк; S – площадь зеленых листьев пробирочного растения, мм².

Таблица 2

Table 2

СТАТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ПО ГРУППАМ / STATIC DATA BY GROUPS

Группы	Счет	Сумма	Среднее значение	Дисперсия
$RGB_{непр}$	165	490,472	2,972	0,223
$RGB_{имп1}$	165	471,016	2,854	0,187
$RGB_{имп2}$	165	510,049	3,092	0,262

ся 25 дней с контролем параметров каждые 5 дней (пять пятидневок).

За период выращивания 25 дней средняя площадь листьев оказалась максимальной при облучении $RGB_{имп2}$ и составила 3,09 см²; при облучении в контроле $RGB_{непр}$ – 2,97 см²; при режиме облучения $RGB_{имп1}$ – 2,85 см². Средняя площадь листьев под облучателем $RGB_{имп2}$ увеличилась на 4% по сравнению с контролем (100%). Динамика развития растений подтверждается разностью между площадью листьев в конце эксперимента (S_5) и в его начале (S_1). В режиме $RGB_{имп2}$ эта разность составила около 108% по сравнению с контролем (100%).

Расчет потребленной электроэнергии при работе $RGB LED$ облучательной установки по 16 ч/сут в течение 25 дней показал, что в сравнении с контролем (100%) в режиме $RGB_{имп1}$ этот показатель составляет примерно 67%, в режиме $RGB_{имп2}$ – около

78%. Такой результат объясняется уменьшением длительности темновой паузы от 1 до 0,5 с. Но именно в данном случае активно увеличивается площадь листьев. Режим является не только энергосберегающим, но и энергоэффективным для культивирования розы *in vitro*.

Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась по программе «Анализ данных» *MSEExcel* [21, 22]. Использовался метод однофакторного дисперсионного анализа [22, 23]. Результаты приведены в [таблице 2](#).

Фактическое расчетное значение критерия Фишера ($F = 62,13$) указывает на статистически значимые различия между группами по площади листьев, так как оно больше критического значения Фишера. Следовательно, предлагаемый энергосберегающий режим облучения оказывает значительное влияние на рост листьев розы в культуре *in vitro*.

Результаты применения разработанной автоматизированной цифровой системы управления $RGB LED OY$ для реализации энергосберегающей технологии облучения розы *in vitro* показали ([табл. 3](#)), что за пять пятидневок (25 дней) площадь поверхности листьев у меристемных растений розы нарастала быстрее всего в режиме $RGB_{имп2}$ и к концу эксперимента составила 104% (контроль 100%).

Таблица 3

Table 3

РЕЗУЛЬТАТЫ ОДНОФАКТОРНОГО ДИСПЕРСИОННОГО АНАЛИЗА / RESULTS OF UNIVARIATE ANALYSIS OF VARIANCE

Источник вариации	Сумма квадратов отклонений	Количество степеней свободы	Средний квадрат отклонений	Вероятность случайного отклонения	Значение критерия Фишера	
					Расчетное	Табличное
	SS	df	MS	P -значение	F	$F_{критич}$
Между группами	44,561	4	11,140	$7,02769 \cdot 10^{-46}$	62,13	2,38
Внутри групп	147,033	820	0,179	–	–	–
Итого	191,594	824	–	–	–	–

Выводы. Разработана автоматизированная цифровая система управления работой RGB светодиодными установками (RGB LED) для реализации энергосберегающего режима облучения. Самый интенсивный рост листьев розы в культуре *in vitro* наблюдался при длительности светового импульса 1 с и темнового 0,5 с (режим RGB_{имп2}). Разность между площадью листьев в конце и в начале эксперимента в этом случае составила примерно 108% относительно контроля (100%).

Потребление электроэнергии за 25 дней выращивания в режиме RGB_{имп1} составляет примерно 67%, в режиме RGB_{имп2} – около 78% относительно контроля (100%). Это объясняется снижением длительности темновой паузы в режиме RGB_{имп2} от 1,0 до 0,5 с. Но поскольку в этом режиме происходит

активное нарастание площади листьев, то предлагаемая энергосберегающая технология облучения имеет хорошую перспективу для выращивания розы в культуре *in vitro*.

Разработанные цифровые инженерно-технические решения позволяют реализовать энергосберегающую технологию облучения растений с помощью установки RGB LED и снизить расход электроэнергии при сохранении продуктивности растений.

Авторы выражают благодарность кандидату технических наук Андрею Ивановичу Батурину и кандидату физико-математических наук Ирине Андреевне Барановой за предоставление места для исследования и статистический анализ экспериментальных данных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Минеев В.В., Елкин О.В., Алейников А.Ф. и др. Разработка устройства для диагностики пятнистостей земляники садовой // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2024. Т. 54. N10(311). С. 128-140. DOI: 10.26898/0370-8799-2024-10-13.
- Драгавцев В.А. Как «устроены» признаки продуктивности растений и почему России необходим селекционный фитотрон // *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2018. N72. С. 134-141. DOI: 10.21515/1999-1703-72-134-141.
- Судаченко В.Н., Мишанов А.П., Маркова А.Е., Колянова Т.В. Методика выбора технологического оборудования для производства рассады овощных культур в интенсивной светокультуре // *Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства*. 2012. N83. С. 52-60. EDN: TFSFTD.
- Ноздрина Т.А. Применение источников излучения для выращивания растений в домашних условиях // *Наука без границ*. 2017. N4(9). С. 140-143. EDN: YLOHLN.
- Кондратьева Н.П., Большин Р.Г., Краснолуцкая М.Г. и др. Влияния спектра LED-облучательной установки с RGB-светодиодами на рост зеленого корма // *Вестник НГИЭИ*. 2025. N5(168). С. 17-28. DOI: 10.24412/2227-9407-2025-5-17-28.
- Дорохов А.С., Пыльнев В.В., Семенова Н.А. и др. Влияние спектрального состава света на накопление фотосинтетических пигментов и урожайность зерновых культур при выращивании в контролируемых условиях // *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2023. Т. 16. N3(78). С. 29-41. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2023_3_29.
- Попов М.В., Бакиров С.М., Широбокова Т.А. и др. Совершенствование теории светотехнического расчета для сельскохозяйственного производства // *Аграрный научный журнал*. 2024. N7. С. 125-131. DOI: 10.28983/asjy2024i7pp125-131.
- Юферов Л.Ю. Энергосберегающее освещение сельскохозяйственных помещений и расчет его параметров // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. N3. С. 28-34. DOI: 10.22314/2073-7599-2021-15-3-28-34.
- Кондратьева М.Г. Обоснование энергосберегающего режима облучения растений // *Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии*. 2014. N4(41). С. 41-44. EDN: THNDMF.
- Кондратьева Н.П., Большин Р.Г., Краснолуцкая М.Г. и др. Использование сквозных цифровых технологий с элементами нейросети/искусственного интеллекта в современном производстве // *Тенденции развития науки и образования*. 2024. N112-6. С. 91-94. DOI: 10.18411/trnio-08-2024-305.
- Большин Р.Г. Ресурсосберегающая и энергоэффективная система облучения гидропонных теплиц // *Вестник НГИЭИ*. 2024. N9(160). С. 40-51. DOI: 10.24412/2227-9407-2024-9-40-51.
- Кондратьева Н.П., Корепанов Р.И., Ильясов И.Р. и др. Эффективность микропроцессорной системы автоматического управления работой светодиодных облучательных установок // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. N3. С. 32-37. DOI: 10.22314/2073-7599-2018-12-3-32-37.
- Кондратьева Н.П., Шогенов Ю.Х., Зиганшин Б.Г., Ахатов Р.З. Использование цифровых технологий для эффективного управления электротехнологическими облучательными установками // *Техника и оборудование для села*. 2022. N4(298). С. 40-43. DOI: 10.33267/2072-9642-2022-4-40-43.
- Kondratieva N.P., Akhatov R.Z., Bolshin R.G. et al. Digital automation of energy-efficient *in vitro* irradiation of orchard plum micro cuttings. *Light & Engineering*. 2023. Vol. 31. N6. 57-64. DOI: 10.33383/2023-019.
- Ovchukova S.A., Kondratieva N.P., Kovalenko O.Y. Energy saving in lighting technologies of agricultural production.

- Light & Engineering*. 2021. Vol. 29. N2. 21-25. DOI: 10.33383/2020-039.
16. Долгих П.П., Трепуз С.В., Град Э.Я. и др. Влияние параметров электротехнологического облучения на эффективность выращивания различных сортов салата // *Успехи современного естествознания*. 2024. N4. С. 8-14. DOI: 10.17513/use.38242.
 17. Kudrin A.V., Zholaushin D.Zh., Kantarbayeva E.Ye., Baiseit G.A. Microclonal propagation of grain legume crops in vitro conditions. *Bulletin of the M. Kozubayev NKU*. 2024. N4(64). 135-140. DOI: 10.54596/2958-0048-2024-4-135-140.
 18. Васильков А.Ю., Повод У.Д. Регуляция роста и развития растений при микроклональном размножении оздоровленных растений // *Forcipe*. 2023. Т. 6. NS2. С. 582. EDN: CKBDKI.
 19. Кутырёв А.И., Хорт Д.О., Филиппов Р.А., Ценч Ю.С. Магнитно-импульсная обработка семян земляники садовой // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. N5. С. 9-15. DOI: 10.22314/2073-7599-2017-5-9-15.
 20. Мазитов Н.К., Шогенов Ю.Х., Ценч Ю.С. Сельскохозяйственная техника: решения и перспективы // *Вестник ВИЭСХ*. 2018. N3 (32). С. 94-100. EDN: YLWHAL.
 21. Баранова И.А., Кондратьева Н.П., Батурина А.И., Батурина К.А. Сравнение влияния различных режимов облучения на увеличение площади листьев меристемных растений статистическими методами // *Вестник НГИЭИ*. 2022. N5(132). С. 55-64. DOI: 10.24412/2227-9407-2022-5-55-64.
 22. Подживотов Н.Ю. Оценка результатов испытаний с помощью однофакторного дисперсионного анализа // *Труды ВИАМ*. 2022. N8(114). С. 141-152. DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-8-141-152.
 23. Загуменный Р.А., Николаева А.В., Панченко М.М. Влияние интенсивности освещения на всхожесть семян *Psidium guajava* L. в оранжерейном комплексе Донецкого ботанического сада // *Промышленная ботаника*. 2024. Т. 24. N4. С. 57-62. DOI: 10.5281/zenodo.14638307.

REFERENCES

1. Mineev V.V., Yolkin O.V., Aleynikov A.F. et al. Development of a device for diagnostics of garden strawberry spot diseases. *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2024. Vol. 54. N10(311). 128-140 (In Russian). DOI: 10.26898/0370-8799-2024-10-13.
2. Dragavtsev V.A. «Arrangement» of quantitative characters of plant productivity and why Russia is in want the breeding phytotrhone. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2018. N72. 134-141 (In Russian). DOI: 10.21515/1999-1703-72-134-141.
3. Sudachenko V.N., Mishanov A.P., Markova A.E., Kolianova T.V. Selection procedure of technological equipment for growing vegetable transplants under intensive photoculture conditions. *AgroEcoEngineering*. 2012. N83. 52-60 (In Russian). EDN: TFSFTD.
4. Nozdrina T.A. Application of radiation sources for growing plants at home. *Science without borders*. 2017. N4(9). 140-143 (In Russian). EDN: YLOHLH.
5. Kondratieva N.P., Bolshin R.G., Krasnolutsкая M.G. et al. Effects of LED spectrum of irradiation system with RGB LEDs on green fodder growth. *Bulletin NGIEI*. 2025. N5 (168). 17-28 (In Russian). DOI: 10.24412/2227-9407-2025-5-17-28.
6. Dorokhov A.S., Pylnev V.V., Semenova N.A. et al. Effect of spectral composition of light on the accumulation of photosynthetic pigments and yield of grain crops grown in controlled conditions. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2023. Vol. 16. N3(78). 29-41 (In Russian). DOI: 10.53914/issn2071-2243_2023_3_29.
7. Popov M.V., Bakirov S.M., Shirobokova T.A. et al. Improving the theory of lighting technical calculations for agricultural production. *Agrarian Scientific Journal*. 2024(7). 125-131 (In Russian). DOI: 10.28983/asj.y2024i7pp125-131.
8. Yuferev L.Yu. Energysaving lighting of agricultural premises and its parameters calculation. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2021. Vol. 15. N3. 28-34 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2021-15-3-28-34.
9. Kondratyeva M.G. Justification of an energy saving mode of radiation of plants. *Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy*. 2014. N4(41). 41-44 (In Russian). EDN: THNDMF.
10. Bolshin R.G. Resource-saving and energy-efficient irradiation system for hydroponic greenhouses. *Bulletin NGIEI*. 2024. N 9 (160). 40-51 (In Russian). DOI: 10.24412/2227-9407-2024-9-40-51.
11. Kondratieva N.P., Korepanov R.I., Ilyasov I.R. et al. The efficiency of automated control microprocessor systems for LED irradiation installations. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2018. Vol. 12. N3. 32-37 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2018-12-3-32-37.
12. Kondratieva N.P., Shogenov Yu.Kh., Ziganshin B.G., Akhatov R.Z. The use of digital technologies for the effective management of electrotechnological irradiators. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2022. N4(298). 40-43 (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2022-4-40-43.
13. Kondratieva N.P., Akhatov R.Z., Bolshin R.G. et al. Digital automation of energy-efficient in vitro irradiation of orchard plum micro cuttings. *Light & Engineering*. 2023. Vol. 31. N6. 57-64 (In English). DOI: 10.33383/2023-019.
14. Ovchukova S.A., Kondratieva N.P., Kovalenko O.Y. Energy saving in lighting technologies of agricultural production. *Light & Engineering*. 2021. Vol. 29. N2. 21-25 (In English). DOI: 10.33383/2020-039.
15. Dolgikh P.P., Trepuz S.V., Grad E.Ya. et al. Influence of electrotechnological irradiation parameters on the efficiency of growing different varieties of lettuces. *Advances in Current Natural Sciences*. 2024. N4. 8-14 (In Russian).

- DOI: 10.17513/use.38242.
17. Kudrin A.V., Zholaushin D.Zh., Kantarbayeva E.Ye., Baiseit G.A. Microclonal propagation of grain legume crops in vitro conditions. *Bulletin of the M. Kozybayev NKU*. 2024. N4(64). 135-140 (In English). DOI: 10.54596/2958-0048-2024-4-135-140.
 18. Vasilkov A.Yu., Povod U.D. Regulation of plant growth and development during microclonal reproduction of healthy plants. *Forcipe*. 2023. Vol. 6. NS2. 582 (In Russian). EDN: CKBDKI.
 19. Kuttyrev A.I., Khort D.O., Filippov R.A., Tsench Yu.S. Magnetic-pulse treatment of garden strawberry seeds. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2017. N5. 9-15 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2017-5-9-15.
 20. Mazitov N.K., Shogenov Yu.Kh., Tsench Yu.S. Agricultural machinery: solutions and prospects. *Vestnik VIESH*. 2018. N3 (32). 94-100 (In Russian). EDN: YLWHAL.
 21. Baranova I.A., Kondrateva N.P., Baturin A.I., Baturina K.A. Comparison of the effect of different irradiation modes on the increase in the leaf area of meristem plants by statistical methods. *Bulletin of the NGIEI*. 2022. N5(132). 55-64 (In Russian). DOI: 10.24412/2227-9407-2022-5-55-64.
 22. Podzhivotov N.Yu. Assessment of results by means of the analysis of variance method. *Trudy VIAM*. 2022. N8(114). N12. 141-152 (In Russian). DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-8-141-152.
 23. Zagumenny R.A., Nikolaeva A.V., Panchenko M.M. The influence of illumination intensity on the germination of Psidium guajava L. seeds in the greenhouse complex of the Donetsk Botanical Garden. *Industrial Botany*. 2024. Vol. 24. N4. 57-62 (In Russian). DOI: 10.5281/zenodo.14638307.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Кондратьева Н.П. – научное руководство, постановка основных целей и задач теоретических исследований, доработка текста статьи;

Батурина К.А. – сбор материалов по теме исследования и испытание автоматизированной системы управления, проведение экспериментов;

Большин Р.Г. – разработка и испытание автоматизированной системы управления, обработка полученных результатов, подготовка первоначального варианта текста;

Пантелеева Л.А. – решение организационных и технических вопросов по испытанию цифровых систем, подготовке текста.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Kondrateva N.P. – scientific supervision, setting the main goals and objectives of theoretical research, finalizing the text of the article;

Baturina K.A. – collection of materials on the research topic and testing of the automated control system, conducting experiments;

Bolshin R.G. – development and testing of an automated control system, processing of the obtained results;

Panteleeva L.A. – solving organizational and technical issues related to testing digital systems.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию
Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on
The paper was accepted for publication on

01.12.2025
26.01.2026