

Научная статья
 УДК 631.53.027.34
 doi:10.35694/YARCX.2025.72.4.020

УСТАНОВКА ДЛЯ ОБРАБОТКИ СЕМЯН СОИ ПЕРЕД ПОСЕВОМ

**Ольга Сергеевна Кузьмина¹, Екатерина Геннадьевна Котлярова²,
 Александр Александрович Муравьев³, Дмитрий Алексеевич Лукинов⁴**

^{1, 2, 3, 4}Белгородский государственный аграрный университет имени В. Я. Горина,
 Белгород, Россия

¹kuzmina_os@belgau.ru

²kotljarova_eg@belgau.ru

³muravev_aa@belgau.ru

⁴lukinov_da@belgau.ru

Реферат. В практике растениеводства применяется много методов электрофизической обработки семян перед посевом. Весомым преимуществом электрофизической обработки выступает простота использования, высокая эффективность, безопасность для окружающей среды и низкие эксплуатационные затраты. Однако для достижения положительного эффекта необходимо строгое соблюдение рекомендуемых режимов. Переоблучение семян может привести к снижению всхожести, замедлению роста и развития. Чувствительность к ультрафиолетовому излучению может отличаться даже у одних культур в пределах различных сортов. Сказываются условия хранения, наличие микротравм, влажность семян, своевременность проведённой уборки. Цель данного исследования – определить влияние предпосевной ультрафиолетовой обработки на всхожесть семян сои сорта «Виктория». Для достижения поставленной цели были проведены исследования источника облучения – ртутной лампы низкого давления ДКБу-7. По результатам замеров спектра излучения выявлено, что, основной диапазон длин волн находится в пределах от 250 до 258 нм, пик излучения соответствует длине волны 253,8 нм. Для реализации предпосевной обработки предложена конструкция устройства вибрационного типа для обеззараживания семян. Приведены результаты экспериментальных исследований по оценке влияния предпосевной ультрафиолетовой обработки сои сорта «Виктория». По экспериментальным данным получено регрессионное уравнение, описывающее влияние параметров обработки на всхожесть, а также построены графические зависимости изменения функции отклика в интервалах варьирования воздействующих факторов. Результаты многофакторного эксперимента позволили выявить оптимальный режим обработки с параметрами энергетической облучённости 9 Вт/м² и продолжительностью обработки 30 с.

Ключевые слова: соя, предпосевная обработка, ультрафиолетовое облучение, всхожесть

PLANT FOR SOY SEED TREATMENT BEFORE SOWING

Olga S. Kuzmina¹, Ekaterina G. Kotlyarova², Aleksandr A. Muravyev³, Dmitriy A. Lukinov⁴

^{1, 2, 3, 4}Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin, Belgorod, Russia

¹kuzmina_os@belgau.ru

²kotljarova_eg@belgau.ru

³muravev_aa@belgau.ru

⁴lukinov_da@belgau.ru

Abstract. In the practice of crop production, many methods of electrophysical treatment of seeds before sowing are used. A significant advantage of electrophysical processing is its ease of use, high efficiency, environmental safety and low operating costs. However, strict adherence to recommended regimens is necessary to achieve a positive effect. Overexposure of seeds can lead to a decrease in germination, slowing down growth and development. Sensitivity to ultraviolet radiation may differ even in the same crops within different varieties. The storage conditions, the presence of microtraumas, the seed moisture, the timeliness of harvesting are affected. The purpose of this research is to determine the effect of pre-sowing ultraviolet treatment on the germination of Victoria variety soybean seeds. To achieve this goal, studies on the radiation source – the low-pressure mercury lamp DKBu-7 were carried out. According to the results of measurements of the radiation spectrum, it was found that the main wavelength range is from 250 to 258 nm, the radiation peak corresponds to a wavelength of 253.8 nm. For implementation of pre-sowing tillage, the design of a vibration-type device for disinfection of seeds was proposed. The results of experimental studies to assess the impact of pre-sowing ultraviolet treatment of Victoria variety soybeans were presented. Based on experimental data, a regression equation describing the effect of processing parameters on germination was obtained, as well as graphical dependences of the change in the response function in the intervals of variation of the influencing factors were plotted. The results of the multifactorial experiment made it possible to identify the optimal treatment mode with energy irradiation parameters of 9 W/m² and treatment duration of 30 s.

Keywords: soybean, pre-sowing tillage, ultraviolet radiation, germination

Введение. Современное сельскохозяйственное производство ориентировано на увеличение выхода продукции. Стабильная динамика роста прослеживается в отрасли животноводства и растениеводства. Эти отрасли взаимосвязаны. Нарращивание поголовья животных требует наличие качественных кормов, где ключевым сырьём выступает соя и продукты её переработки. Востребованность сои в качестве корма обусловлена содержанием высококачественного протеина и незаменимых аминокислот, которые не могут синтезироваться организмом животного самостоятельно и должны поступать с кормами.

Именно поэтому применение сои в кормах помогает обеспечить сбалансированный и питательный рацион. Нарращивание посевных площадей под сою – стратегически важная задача для достижения высокой продуктивности сельскохозяйственных животных и птицы.

В вопросах повышения объёмов производства сои невозможно обойтись без качественного посевного материала и правильной подготовки семян перед посевом. Обработка сои перед посевом влияет на всхожесть, энергию прорастания, дружность всходов, устойчивость растения к стрессам [1; 2].

Известны различные методы предпосевной обработки семян, среди которых учёные выделяют физические, электрофизические и химические методы. Классификация методов предпосевной обработки семян представлена на рисунке 1.

В научной литературе имеется достаточно сведений, подтверждающих эффективность того или иного метода. Самым распространённым методом является химическая обработка семян перед посевом. Нельзя с уверенностью сказать, что химический метод обработки является самым безопасным как для растений, так и для окружающей среды. Современное сельское хозяйство ориентированно на гармоничное развитие с сохранением экологической безопасности.

Протравливание семян получило широкое распространение среди аграриев благодаря простоте применения и высокой эффективности при подавлении патогенных микроорганизмов на поверхности семян и улучшению адаптационных свойств будущих растений. При этом достаточно часто не учитываются риски накопления токсичных веществ в почве, загрязнение окружающей среды, влияние продукции, обработанной химическими препаратами, на здоровье человека. Даже если полученная продукция не предназначена для пищевой промышленности, остаточные соединения химических препаратов могут оказывать пагубное влияние на человека через молочные или мясные продукты. Концентрация химических соединений может не превышать установленные нормы, опасения вызывает накопительный эффект. Не стоит недооценивать постоянный рост цен на препараты для обработки семян. Таким образом, нельзя утверждать, что химические методы обработки полностью безопасны для человека и природы. Несомненно, они эффективны и просты в применении, именно это определяет их широкое распространение [3; 4].

Для сохранения окружающей среды следует по-новому взглянуть на применение электрофизической обработки семян. Среди электрофизических методов обработки выделяют ультрафиолетовое облучение, инфракрасное облучение, СВЧ-поле, лазерное облучение. Эффективность электрофизической обработки доказывают многочисленные исследования советских учёных, современные отечественные и зарубежные работы. Стоит признать, что большого распространения устройства для электрофизической обработки не получили. Причина заключается в несовершенстве существующих конструкций, сложности обработки, низкой равномерности, высокой стоимости оборудования, нестабильности эффекта.

Научные работники ведущих университетов продолжают изучать вопросы применения электрофизиче-



Рисунок 1 – Классификация методов предпосевной обработки семян

ской обработки семян. Совершенствуются конструкции, предлагаются новые режимы обработки, что помогает преодолеть известные недостатки.

Заинтересованность исследователей продолжают привлекать устройства для предпосевной обработки семян с использованием ультрафиолетового излучения. Такое излучение занимает спектральный диапазон от 100 до 400 нм. Облучение семян можно рассматривать как стресс-фактор, после которого запускаются природные адаптационные механизмы в живых клетках. Ультрафиолетовая обработка способна вызывать положительные преобразования в семенном материале, стимулируя прорастание и клеточное дыхание, ускоряя внутренние окислительные процессы, активацию ферментативной системы.

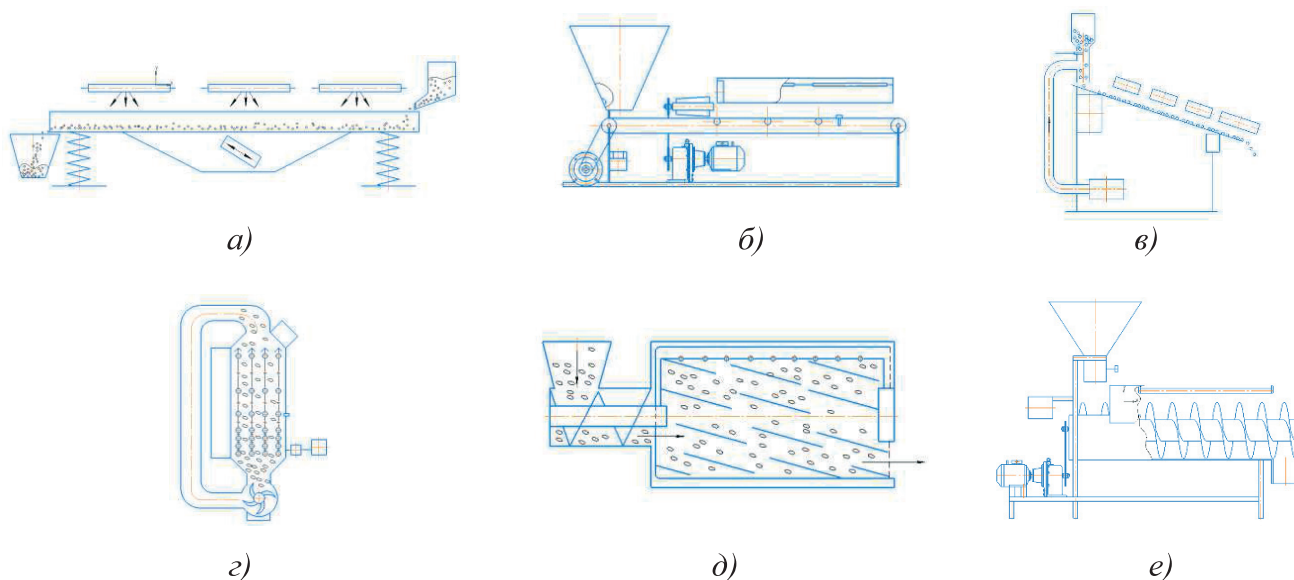
У растений, выросших из УФ-облучённых семян, усиливается рост биомассы и корневой системы, активнее развивается листовая поверхность, отмечена устойчивость к неблагоприятным факторам среды. Такие изменения обусловлены повышением фотосинтеза и накоплением тканями защитных соединений – осмотиков [5; 6].

Следует учитывать, что превышение допустимых доз обработки семян является мощным мутагенным фактором. Избыточное облучение коротковолновым диапазоном УФ-В и УФ-С вызывает точечные мутации в хромосомах. В результате блокируются механизмы деления клеток, что приводит к появлению нежизнеспособных проростков. На ферментативном уровне переоблучение семян нарушает механизмы мобилизации запасных веществ и антиоксидантную защиту. Нарушение режимов обработки приводит к резкому снижению энергии прорастания и лабораторной всхожести семян. Семена, не утратившие способность к прорастанию, имеют деформированные проростки, что приводит к отклонению

нормального роста и развития растения. У взрослых растений из таких семян меньшая листовая поверхность и недоразвитая корневая система.

Материалы и методы исследований. Для правильной обработки семенного материала необходимо понимать особенности ультрафиолетового облучения. Электромагнитное излучение ультрафиолетового диапазона не способно проникать вглубь слоя семян, что обуславливает определённые особенности обработки. Только наличие тонкого слоя позволяет обеспечить высокую равномерность облучения. Для реализации процесса обработки семян с соблюдением рассмотренных технологических особенностей существуют различные типы установок: вибрационные транспортеры периодического и непрерывного действия; ленточные конвейеры; устройства с наклонными поверхностями, где семена скатываются под действием силы тяжести; установки для обработки семян во взвешенном состоянии; обработки во вращающемся барабане не при перемещении шнеком. Конструктивные схемы рассмотренных вариантов установок представлены на рисунке 2.

Устройство вибрационного типа [7], предложенное коллективом учёных ООО «Мелитта-УФ», при работе позволяет постоянно перемешивать и вращать семена по своей оси относительно источника облучения. Такая конструкция характеризуется высокой равномерностью облучения. Среди недостатков данного технологического решения можно выделить сложность управления скоростью перемещения массы семян и образование пыли над источником излучения. Пыль, скапливаясь над семенами и оседая на ультрафиолетовой лампе, способна привести к значительному снижению потока излучения. Таким образом, необходимая облучённость не будет достигнута.



а) устройство вибрационного типа (патент RU 2279806); б) устройство ленточного типа (патент RU 206252);
 в) устройство с наклонной поверхностью (патент RU 2537919);
 г) установка для обработки семян во взвешенном состоянии (патент RU 2228120);
 д) установка для обработки во вращающемся барабане (патент RU 2537500);
 е) установка для обработки семян при перемещении шнеком (патент RU 2728184).

Рисунок 2 – Конструктивные схемы установок для ультрафиолетовой обработки семян

Существует большое разнообразие конструкций установок ленточного типа. Ленточные транспортёры просты в использовании и управлении режимами обработки [8]. Следует учитывать, что обработка семян на поверхности ленты осуществляется только с одной стороны. Для повышения равномерности обработки необходимо использовать дополнительные узлы перемешивания. Управление режимами обработки производится благодаря изменению энергетической облучённости на ленте транспортёра. Скорость перемещения ленточного транспортёра можно изменять за счёт частотного преобразователя для электропривода.

В устройствах, реализующих принцип обработки семян при скатывании по наклонной поверхности, затруднительно управлять режимами обработки, необходимо обеспечивать ограниченную подачу семенного материала, чтобы избежать большого слоя. Для повышения дозы ультрафиолетового облучения потребуется повторная обработка [9]. Из преимуществ можно выделить простоту конструкции и высокую равномерность обработки скатывающихся семян.

Известны конструкции установок для ультрафиолетового облучения семян во взвешенном состоянии [10]. Существуют исполнения для обработки семян в состоянии свободного падения, где семена просыпаются между лампами. Подобные конструктивные решения хорошо зарекомендовали себя при обеззараживании сыпучих продуктов в пищевой и фармацевтической промышленности. Существенный недостаток при обработке семенного материала – скопление пыли, снижающей поток источника облучения. В таких конструкциях затруднительно управлять режимами обработки. В отдельных случаях для достижения заданного режима потребуется прибегнуть к дополнительным обработкам, что снизит

поточность процесса.

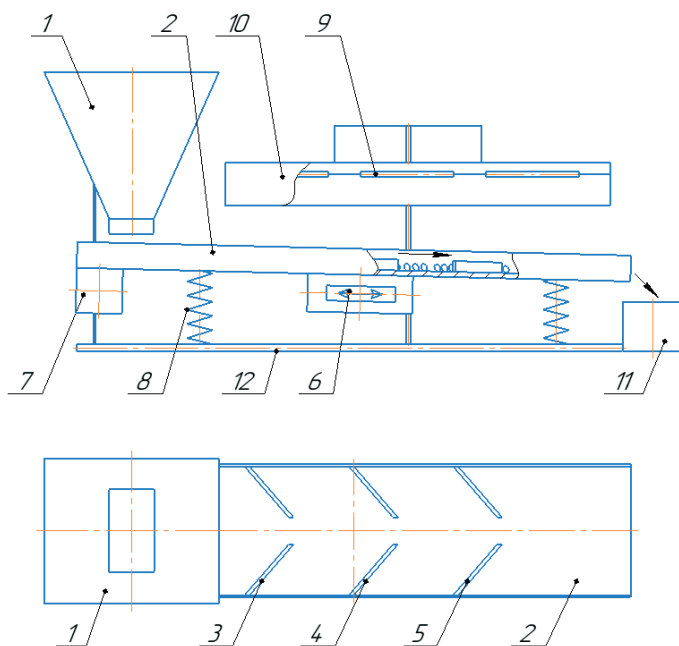
Учёные Горского государственного аграрного университета предложили облучать сыпучие материалы во вращающемся барабане [11]. Внутренняя часть барабана может разделяться на секции. Недостатками подобной конструкции является пылеобразование при вращении барабана, сложности при разгрузке обработанных семян, ограниченный объём семян для одной обработки, наличие инородных включений, которые могут повредить источник облучения.

Существуют решения с использованием шнека для перемещения семян под ультрафиолетовым источником [12]. Подобная конструкция представляет научный интерес, но более перспективна для других видов электрофизической обработки, например, СВЧ излучения. При этом ультрафиолетовое излучение не способно равномерно, по всей глубине, проникать в большой слой семян, перемещаемый шнеком.

Проведя анализ рассмотренных конструкций устройств для ультрафиолетовой обработки, можно сделать вывод о наиболее перспективном использовании устройств вибрационного типа с непрерывным действием.

В проведённых исследованиях для обработки семян использовалась запатентованная конструкция установки вибрационного типа, разработанная коллективом авторов Белгородского ГАУ [13]. Конструкция устройства для обеззараживания семян представлена на рисунке 3.

Как было отмечено выше, для реализации предпосевной обработки семян сои было принято решение использовать конструкцию устройства вибрационного типа непрерывного действия. Очевидные преимущества данного решения заключаются в высокой равномерности обработки слоя семян, удобстве управления режи-



1 – бункер-дозатор; 2 – лоток; 3 – первая пара перегородок; 4 – вторая пара перегородок; 5 – третья пара перегородок; 6 – вибратор; 7 – пульт управления; 8 – амортизатор; 9 – ультрафиолетовая лампа; 10 – отражатель; 11 – накопительный бункер; 12 – рама.

Рисунок 3 – Конструкция устройства для обеззараживания семян

Таблица 1 – Характеристики источника облучения

Наименование параметра	Значение параметра
Мощность, Вт	7
Тип колбы; диаметр каждой, мм	колба двойная; 13
Тип цоколя	2G7, 4 штырька
Длина, мм	123
Средний срок службы, ч	6000
Мощность УФ-С излучения, Вт	1,5
Напряжение на лампе, В	38–52

мами обработки, технологичности и простоте конструкции.

Представленное устройство для обеззараживания семян обеспечивает снижение микробной обсеменённости и обеззараживание поверхности семян от плесени и грибков. Эксперименты проводились на семенах сои.

Рассмотрим последовательность работы устройства. Оператор загружает семена в бункер-дозатор, под которым размещён лоток. Оператор настраивает положение заслонки, после чего семена дозированно поступают на лоток. Подача семян регулируется только в ручном режиме при помощи заслонки бункера-дозатора. На поверхности лотка устанавливаются три пары перегородок. Задача перегородок – замедление перемещения массы сои в зоне облучения. Установка может работать без перегородок. Если в них нет необходимости, оператор снимает перегородки с лотка, после такого изменения конструкция установки не теряет свою функциональность.

Лоток связан с вибратором и установлен на амортизаторах. Изменение режимов работы вибратора осуществляется при помощи пульта управления с преобразователем частоты. Три источника ультрафиолетового излучения размещены в отражателе над лотком. Интенсивность ультрафиолетового облучения можно регулировать мощностью и числом одновременно включённых ультрафиолетовых ламп, а также высотой их размещения. Для повышения коэффициента отражения использованы отражатели из травленного алюминия. Дозу

облучения можно регулировать высотой расположения источников облучения и длительностью прохождения семян под источниками облучения. Для ускорения или замедления скорости перемещения семян на лотке оператор настраивает режимы путём изменения частоты вибраций лотка.

Предложенное устройство обеспечивает возможность проводить обработку семян сельскохозяйственных культур с высокой равномерностью облучения. Управление работой вибратора позволяет автоматизировать процесс обработки с запрограммированными режимами под различные культуры, сорта семян. Предусмотрена возможность использовать источники ультрафиолетового излучения различной мощности или комбинировать их.

У обработанных семян равномерно обеззараживается поверхность от спор плесени и грибков, происходит стимулирование начальных ростковых процессов. Семена выходят из состояния «биологического сна».

Для правильной предпосевной обработки следует соблюдать рекомендуемые режимы. В установках рассмотренного типа режимы обработки задаются с учётом интенсивности и продолжительности ультрафиолетового облучения. Чувствительность семян к ультрафиолетовому излучению может отличаться даже у одних культур в пределах различных сортов. Сказываются условия хранения, наличие микротравм, влажность семян, своевременность проведённой уборки. Для определения оптимальных режимов предпосевной обработки сои

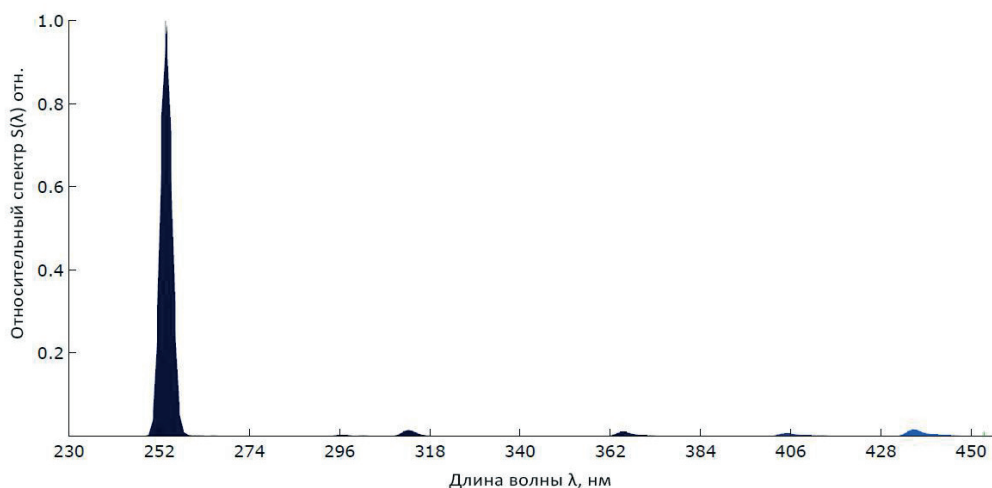


Рисунок 4 – Спектрограмма источника облучения

сорта «Виктория» были проведены экспериментальные исследования.

Цель данного исследования – определить влияние предпосевной ультрафиолетовой обработки на всхожесть семян сои сорта «Виктория».

Результаты. В качестве объекта исследований были использованы районированные семена сои сорта «Виктория», предоставленные центром селекции в растениеводстве Белгородского ГАУ.

Первоначально были проведены замеры энергетической облучённости источника излучения. В опытах в качестве источника ультрафиолетового излучения использовалась бактерицидная лампа низкого давления типа ДКБу-7 с колбой из увиолевого стекла. Данный источник рекомендован для дезинфекции воды, воздуха, поверхностей, дезинфекции питьевой воды, сточных вод, плавательных бассейнов, дезинфекции систем кондиционирования, холодных складских помещений и упаковочных материалов.

Область применения не препятствует использовать её для обеззараживания семян. Характеристики источника облучения представлены в таблице 1.

Для измерения спектра источника облучения использовался прибор – спектрометр света НРС-330UV. При замерах расстояние от источника излучения до фотометрической головки прибора составляло 15 см. Расстояние было выбрано как оптимальное для расположения источника облучения с учётом конструкции установки. Температура при замерах 20°C, относительная влажность 60%. Результаты замеров спектрального состава лампы ДКБу-7 представлены на рисунке 4.

Анализ результатов показывает, что основное излучение приходится на диапазон длин волн от 250 до 258 нм. Пик излучения соответствует длине волны 253,8 нм. Источники с данной длиной волны наиболее эффективны для обеззараживания. Результаты замеров в абсолютных единицах приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты замеров в абсолютных единицах

Наименование параметра	Обозначение (ед. изм.)	Значение
Энергетическая облучённость УФ-С	E_{uvc} (мВт/см ²)	0,914
Энергетическая облучённость УФ-В	E_{uvb} (мВт/см ²)	0,026
Энергетическая облучённость УФ-А	E_{uva} (мВт/см ²)	0,023
Общая энергетическая облучённость в ультрафиолетовом диапазоне	E_{uv} (мВт/см ²)	0,972
Полуширина	(нм)	3,2
Пик	(нм)	253,8
Центр	(нм)	254,0
Центроид	(нм)	263,4

Таблица 3 – Уровни варьирования факторов

Наименование фактора	Уровни варьирования факторов		Интервал варьирования
	-1	+1	
Энергетическая облучённость поверхности, E , Вт/м ² (X_1)	1	9	4
Время ультрафиолетового облучения, $T_{обр}$, с (X_2)	30	90	30

Для выявления оптимальных режимов обработки необходимо провести эксперимент. При обработке основное влияние оказывают два ключевых фактора: энергетическая облучённость поверхности (Вт/м²) и продолжительность воздействия (с). Именно эти факторы формируют дозу ультрафиолетового облучения. Всхожесть семян сои после обработки принята в качестве критерия оптимизации [14; 15]. В таблице 3 представлены уровни варьирования факторов. Уровни варьирования выбирались с учётом имеющихся исследований различных авторов по тематике предпосевной обработки семян сои [16–18].

Исследования проводились в соответствии с ортогональным планом второго порядка полного 2-факторного эксперимента в 3-кратной повторности в каждой точке плана эксперимента.

Методика проведения эксперимента состояла в следующем. Первоначально по плану эксперимента обрабатывали семена сои на установке. Затем образцы семян проращивали для определения всхожести в соответствии с ГОСТ 12038. По результатам исследований были получены экспериментальные данные.

В таблице 4 представлены план эксперимента и результаты по всхожести семян сои в различных точках плана.

Для оценки воспроизводимости опытов использовался критерий Кохрена при уровне значимости $\alpha = 0,05$ и числе степеней свободы $f_2 = 12$. Использовался G-критерий Кохрена для проверки однородности дисперсий нескольких выборок. Полученное расчётное значение критерия Кохрена $G_{расч} = 0,13$ находилось в диапазоне допустимых значений $G_{0,05} = 0,4$ ($0,13 \leq 0,4$) [19; 20].

После обработки экспериментальных данных было получено регрессионное уравнение, описывающее влияние режимов обработки на всхожесть семян сои, которое в кодированных переменных имеет вид:

Таблица 4 – Матрица плана и результаты эксперимента

№ опыта	X1	X2	Всхожесть, %	НСР ₀₅
1	-1	-1	94	4,8
2	1	-1	95	2,9
3	-1	1	84	4,5
4	1	1	92	4,2
5	-1	0	94	3,9
6	1	0	96	3,2
7	0	-1	94	3,8
8	0	1	90	4,6
9	0	0	93	5,0
10	Контроль	-	82	4,1

$$Y = 94,36 + 1,83X_1 + -2,83X_2 + 1,17X_1X_2 + 0,08X_1^2 + -2,92X_2^2, \quad (1)$$

где X_1 – энергетическая облучённость поверхности, о.е ($-1 \leq X_1 \leq +1$); X_2 – продолжительность облучения, о.е ($-1 \leq X_2 \leq +1$); $B_0 = 94,36$; B_1 ; B_2 ; B_{12} ; B_{11} ; B_{22} – коэффициенты уравнения.

Значимость коэффициентов проверялась по критерию Стьюдента ($t_{кр}$) при уровне значимости $\alpha = 0,05$ и числе степеней свободы $f_2 = 12$. Адекватность модели оценивалась по критерию Фишера при уровне значимости $\alpha = 0,05$. Расчётное значение критерия Фишера $F_{расч} = 1,5$ не превышало допустимых значений $F_{0,05} = 2,57$ ($1,5 \leq 2,57$).

Расчётное уравнение регрессии в натуральных переменных получается заменой кодированных переменных в уравнении (1) их натуральными аналогами в соответствии с таблицей 1 по формулам:

$$X_1 = (E - 5) / 4; \quad (2)$$

$$X_2 = (t_{обр} - 60) / 30, \quad (3)$$

где E – энергетическая облучённость поверхности, Вт/м²; $t_{обр}$ – продолжительность ультрафиолетовой обработки, с.

На рисунке 5 приведена расчётная поверхность зависимости всхожести сои от влияющих факторов. Поверхности построены с использованием программного обеспечения статистического анализа для персонального компьютера STATISTICA 10.

По анализу полученных поверхностей можно сделать вывод, что наилучшие режимы для повышения всхожести сои сорта «Виктория» были получены при энергетической облучённости 7–9 Вт/м² и продолжительности облучения 30–60 секунд. Для снижения затрат энергии следует рекомендовать режим $E = 9$ Вт/м², $t_{обр} = 30$ с.

Выводы. Многочисленные исследования позволяют утверждать, что ультрафиолетовая обработка семян перед посевом, несомненно, оказывает положительное влияние на рост и развитие растения. Польза заключается не только в обеззараживании поверхности семян, но и во внутренних преобразованиях в клетках, проявляющихся в стимуляции ростковых процессов. Обработка должна производиться с учётом особенностей культуры и рекомендованных режимов. Для механизации предпосевной обработки семян используются различные установки. В исследовании проведён анализ существующих конструкций установок для ультрафиолетовой обработ-

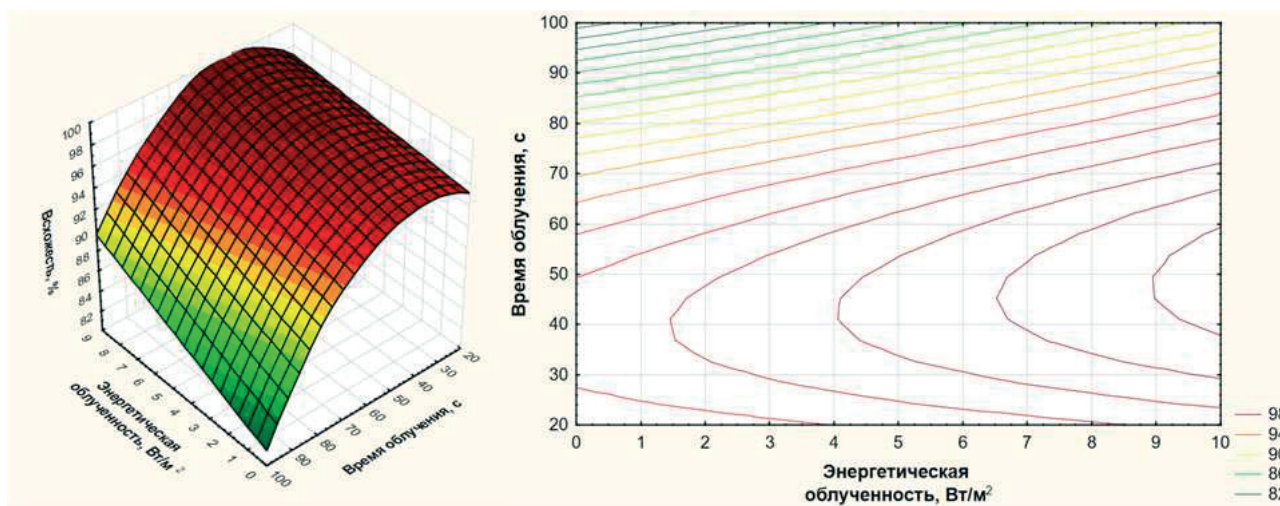


Рисунок 5 – Расчётная поверхность всхожести семян сои сорта «Виктория»

ки семян. На основе анализа были отмечены преимущества и недостатки каждого конструктивного решения. На основании анализа представлена собственная конструкция устройства для обеззараживания семян. В качестве источника облучения принята ртутная лампа низкого давления типа ДКБу-7. В исследованиях проведены замеры спектра излучения. Основное излучение

источника приходится на диапазон длин волн от 250 до 258 нм, пик излучения соответствует длине волны 253,8 нм. Результаты многофакторного эксперимента по влиянию предпосевной ультрафиолетовой обработки на всхожесть семян сои сорта «Виктория» позволили выявить оптимальный режим обработки с параметрами $E = 9 \text{ Вт/м}^2$, $t_{\text{обп}} = 30 \text{ с}$.

Список источников

1. Газалов В. С., Пономарева Н. Е., Беленов В. Н. Оптическая система предпосевной обработки семян // Вестник аграрной науки Дона. 2018. № 3 (43). С. 21–30. EDN YOINFR.
2. Вендин С. В., Саенко Ю. В., Страхов В. Ю. Исследование влияния различных способов предпосевной обработки на прорастание зерна пшеницы и ячменя // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2019. № 2 (22). С. 15–30. EDN FPAONR.
3. Корепанов Д. А., Романов В. Ю., Васенев Е. А., Нигматуллин С. И. Установка для повышения посевных качеств семян длинноволновым ультрафиолетовым облучением // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2014. № 1 (21). С. 62–68. EDN RXHND.
4. Вендин С. В., Саенко Ю. В., Страхов В. Ю. Перспективы использования УФ обработки семян при прорастании зерна на корм животным // Наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения : материалы международ. науч.-практ. конф., Воронеж, 26–27 ноября 2018 г. Воронеж : Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2018. Т. I. С. 498–502. EDN YSMTNB.
5. Нагаев Н. Б., Красников А. С., Жильцова А. А., Калмыков А. А. Повышение эффективности предпосевной обработки семян путем облучения ультрафиолетовой светодиодной установкой в сельском хозяйстве // Приоритетные направления научно-технологического развития агропромышленного комплекса России : материалы Нац. науч.-практ. конф., Рязань, 22 ноября 2018 г. Рязань : Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева, 2019. Т. 1. С. 315–319. EDN ZBHCJN.
6. Вендин С. В., Саенко Ю. В., Страхов В. Ю. Анализ влияния УФ облучения на зерно перед прорастанием // Актуальные вопросы энергетики, Майский, 28 ноября 2018 г. Майский : Белгородский государственный аграрный университет имени В. Я. Горина, 2019. С. 14–16. EDN RNUYGX.
7. Пат. 2279806 С2 Российская Федерация, МПК А23В 9/06, А23Л 3/54. Способ обеззараживания сыпучих продуктов и устройство для его осуществления / В. П. Архипов, В. И. Базиков, А. С. Камруков [и др.] ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «Мелитта-УФ». № 2004116184/13 ; заявл. 27.05.2004 ; опубл. 20.07.2006, Бюл. № 20. 10 с. EDN PQJPN.
8. Пат. на полезную модель 206252 U1 Российская Федерация, МПК А01С 1/00. Устройство для ультрафиолетовой обработки семян / С. В. Вендин, В. Ю. Страхов, С. В. Килин [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный аграрный университет имени В. Я. Горина». № 2021116372 ; заявл. 04.06.2021 ; опубл. 02.09.2021, Бюл. № 25. 6 с. EDN DHSVSO.
9. Пат. 2537919 С2 Российская Федерация, МПК А01С 1/00. Способ предпосевной обработки семян сельскохозяйственных культур / В. А. Федотов, И. В. Алтухов, В. Д. Очиров. № 2013100424/13 ; заявл. 09.01.2013 ; опубл. 10.01.2015, Бюл. № 1. 7 с. EDN MCOAOF.
10. Пат. 2228120 С2 Российская Федерация, МПК А23Л 3/54, А61Л 2/10. Установка для обработки сыпучих продуктов ультрафиолетовым излучением / Д. А. Демидов, А. В. Красночуб ; заявитель Закрытое акционерное общество Научно-производственное объединение «Лаборатория импульсной техники». № 2002120538/12 ; заявл. 02.08.2002 ; опубл. 10.05.2004. EDN PJTMDF.
11. Пат. 2537500 С2 Российская Федерация, МПК А23В 9/06. Устройство по ультрафиолетовому облучению сыпучих материалов / Х.-М. С. Хасаев, С. С. Хасаев, Т. Х. Кабалоев ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Горский государственный аграрный университет». № 2012133417/13 ; заявл. 03.08.2012 ; опубл. 10.01.2015, Бюл. № 4. 6 с. EDN WTCABM.
12. Пат. 2728184 С1 Российская Федерация, МПК А01С 1/00. Устройство для ультрафиолетовой обработки зерна перед прорастанием / С. В. Вендин, Ю. В. Саенко, Г. С. Походня [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный аграрный университет имени В. Я. Горина». № 2019131990 ; заявл. 09.10.2019 ; опубл. 28.07.2020, Бюл. № 22. 6 с. EDN NAEDMW.
13. Пат. на полезную модель 228303 U1 Российская Федерация, МПК А01С 1/08. Устройство для обеззараживания семян / О. С. Кузьмина, А. Н. Крюков, А. А. Мелентьев [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный аграрный университет имени В. Я. Горина». № 2024113162 ; заявл. 15.05.2024 ; опубл. 22.08.2024, Бюл. № 24. 6 с. EDN ORUVPS.
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 прорастании зерна пшеницы и ячменя на витаминный корм // Вестник аграрной науки Дона. 2019. № 2 (46). С. 42–50. EDN FDTBKS.
15. Страхов В. Ю., Вендин С. В., Саенко Ю. В. Экспериментальные исследования по применению ультрафиолетового излучения при предпосевной обработке семян сои для прорастания на витаминный корм // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2021. № 2 (30). С. 108–115. EDN YHOYUК.
16. Денисов М. С., Крамарев А. А. Обработка семян сои ультрафиолетовым излучением для стимуляции ростовых процессов // Наука и молодёжь: новые идеи и решения : материалы XVII Международ. науч.-практ. конф. молодых исследователей, Волгоград, 30–31 марта 2023 г. Волгоград : Волгоградский государственный аграрный университет, 2023. С. 292–294. Ч. II. ISBN 978-5-4479-0418-0. EDN JBKWDG.
17. Страхов В. Ю. Исследование влияния режимов предпосевной ультрафиолетовой обработки на выход массы зеленого витаминного корма сои после прорастания // Аграрный научный журнал. 2024. № 2. С. 134–139. DOI 10.28983/asj.y2024i2pp134-139. EDN JGSKIK.

18. 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. DOI 10.26897/2687-1149-2023-6-46-52. EDN YKIBMG.
19. Вендин С. В. Экспериментальные исследования процессов СВЧ обработки семян : монография. Москва-Белгород : ООО «Центральный коллектор библиотек «БИБКОМ», 2017. 116 с. ISBN 978-5-905563-87-4. EDN XPQEYP.
20. Вендин С. В. Теория и математические методы анализа электродинамики процессов СВЧ обработки семян : монография. М. : ЦКБ «Библиком», 2015. 137 с. ISBN 978-5-905563-38-6. EDN TVIVUZ.

References

1. Gazalov V. S., Ponomareva N. E., Belenov V. N. Opticheskaya sistema predposevnoj obrabotki semyan // *Vestnik agrarnoj nauki Dona*. 2018. № 3 (43). S. 21–30. EDN YOIHFR.
2. Vendin S. V., Saenko Yu. V., Strakhov V. Yu. Issledovanie vliyaniya razlichnyh sposobov predposevnoj obrabotki na prorashchivanie zerna pshenicy i yachmenya // *Innovacii v APK: problemy i perspektivy*. 2019. № 2 (22). S. 15–30. EDN FPAOHR.
3. Korepanov D. A., Romanov V. Yu., Vasenev E. A., Nigmatullin S. I. Ustanovka dlya povysheniya posevnyh kachestv semyan dlinnovolnovym ul'traioletovym oblucheniem // *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta*. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie. 2014. № 1 (21). S. 62–68. EDN RXHHHD.
4. Vendin S. V., Saenko Yu. V., Strakhov V. Yu. Perspektivy ispol'zovaniya UF obrabotki semyan pri prorashchivanii zerna na korm zhivotnym // *Nauka i obrazovanie na sovremennom etape razvitiya: opyt, problemy i puti ih resheniya : materialy mezhdunarod nauch.-prakt. konf., Voronezh, 26–27 noyabrya 2018 g.* Voronezh : Voronezhskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet im. Imperatora Petra I, 2018. T. I. S. 498–502. EDN YSMTNB.
5. Nagaev N. B., Krasnikov A. S., Zhil'tsova A. A., Kalmykov A. A. Povshenie effektivnosti predposevnoj obrabotki semyan putem oblucheniya ul'traioletovoj svetodiodnoj ustanovkoj v sel'skom hozyajstve // *Prioritetnye napravleniya nauchno-tekhnologicheskogo razvitiya agropromyshlennogo kompleksa Rossii : materialy Nac. nauch.-prakt. konf., Ryazan', 22 noyabrya 2018 g.* Ryazan' : Ryazanskij gosudarstvennyj agrotekhnologicheskij universitet im. P. A. Kostycheva, 2019. T. 1. S. 315–319. EDN ZBHCJN.
6. Vendin S. V., Saenko Yu. V., Strakhov V. Yu. Analiz vliyaniya UF oblucheniya na zerno pered prorashchivaniem // *Aktual'nye voprosy energetiki, Majsij, 28 noyabrya 2018 g.* Majsij : Belgorodskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet imeni V. Ya. Gorina, 2019. S. 14–16. EDN RNUYGX.
7. Pat. 2279806 C2 Rossijskaya Federaciya, MPK A23B 9/06, A23L 3/54. Sposob obezrazhivaniya sypuchih produktov i ustrojstvo dlya ego osushchestvleniya / V. P. Arkhipov, V. I. Bazikov, A. S. Kamrukov [i dr.] ; zayavitel' Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennost'yu «Melitta-UF». № 2004116184/13 ; zayavl. 27.05.2004 ; opubl. 20.07.2006, Byul. № 20. 10 s. EDN PQJPVN.
8. Pat. na poleznuyu model' 206252 U1 Rossijskaya Federaciya, MPK A01C 1/00. Ustrojstvo dlya ul'traioletovoj obrabotki semyan / S. V. Vendin, V. Yu. Strakhov, S. V. Kilin [i dr.] ; zayavitel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Belgorodskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet imeni V. Ya. Gorina». № 2021116372 ; zayavl. 04.06.2021 ; opubl. 02.09.2021, Byul. № 25. 6 s. EDN DHSVSO.
9. Pat. 2537919 C2 Rossijskaya Federaciya, MPK A01C 1/00. Sposob predposevnoj obrabotki semyan sel'skohozyajstvennyh kul'tur / V. A. Fedotov, I. V. Altukhov, V. D. Ochirov. № 2013100424/13 ; zayavl. 09.01.2013 ; opubl. 10.01.2015, Byul. № 1. 7 s. EDN MCOAOF.
10. Pat. 2228120 C2 Rossijskaya Federaciya, MPK A23L 3/54, A61L 2/10. Ustanovka dlya obrabotki sypuchih produktov ul'traioletovym izlucheniem / D. A. Demidov, A. V. Krasnochub ; zayavitel' Zakrytoe akcionernoe obshchestvo Nauchno-proizvodstvennoe ob'edinenie «Laboratoriya impul'snoj tekhniki». № 2002120538/12 ; zayavl. 02.08.2002 ; opubl. 10.05.2004. EDN PJTMDF.
11. Pat. 2537500 C2 Rossijskaya Federaciya, MPK A23B 9/06. Ustrojstvo po ul'traioletovomu oblucheniyu sypuchih materialov / Kh.-M. S. Khasaev, S. S. Khasaev, T. Kh. Kabaloev ; zayavitel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovaniya «Gorskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet». № 2012133417/13 ; zayavl. 03.08.2012 ; opubl. 10.01.2015, Byul. № 4. 6 s. EDN WTCABM.
12. Pat. 2728184 C1 Rossijskaya Federaciya, MPK A01C 1/00. Ustrojstvo dlya ul'traioletovoj obrabotki zerna pered prorashchivaniem / S. V. Vendin, Yu. V. Saenko, G. S. Pokhodnya [i dr.] ; zayavitel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Belgorodskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet imeni V. Ya. Gorina». № 2019131990 ; zayavl. 09.10.2019 ; opubl. 28.07.2020, Byul. № 22. 6 s. EDN NAEDMW.
13. Pat. na poleznuyu model' 228303 U1 Rossijskaya Federaciya, MPK A01C 1/08. Ustrojstvo dlya obezrazhivaniya semyan / O. S. Kuz'mina, A. N. Kryukov, A. A. Melent'ev [i dr.] ; zayavitel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Belgorodskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet imeni V. Ya. Gorina». № 2024113162 ; zayavl. 15.05.2024 ; opubl. 22.08.2024, Byul. № 24. 6 s. EDN URUVPS.
14. Vendin S. V., Saenko Yu. V., Strakhov V. Yu. Rezul'taty eksperimental'nyh issledovanij po ocenke effektivnosti primeneniya UF oblucheniya, SVCH obrabotki i iskusstvennogo osveshcheniya pri prorashchivanii zerna pshenicy i yachmenya na vitaminnyj korm // *Vestnik agrarnoj nauki Dona*. 2019. № 2 (46). S. 42–50. EDN FDTBKS.
15. Strakhov V. Yu., Vendin S. V., Saenko Yu. V. Eksperimental'nye issledovaniya po primeneniyu ul'traioletovogo izlucheniya pri predposevnoj obrabotke semyan soi dlya prorashchivaniya na vitaminnyj korm // *Innovacii v APK: problemy i perspektivy*. 2021. № 2 (30). S. 108–115. EDN YHOYYK.
16. Denisov M. S., Kramarev A. A. Obrabotka semyan soi ul'traioletovym izlucheniem dlya stimulyatsii rostovyh processov // *Nauka i molodyozh': novye idei i resheniya : materialy XVII Mezhdunarod. nauch.-prakt. konf. molodyh issledovatelej, Volgograd, 30–31 marta 2023 g.* Volgograd : Volgogradskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2023. S. 292–294. Ch. II. ISBN 978-5-4479-0418-0. EDN JBKWDG.
17. Strakhov V. Yu. Issledovanie vliyaniya rezhimov predposevnoj ul'traioletovoj obrabotki na vyhod massy zelenogo vitaminnogo korma soi posle prorashchivaniya // *Agrarnyj nauchnyj zhurnal*. 2024. № 2. S. 134–139. DOI 10.28983/asj.y2024i2pp134-139. EDN JGSKIK.
18. Strakhov V. Yu., Vendin S. V., Saenko Yu. V. Predposevnaya UF-obrabotka semyan soi: prorashchivanie na vitaminnyj korm // *Agroinzheneriya*. 2023. Т. 25, № 6. С. 46–52. DOI 10.26897/2687-1149-2023-6-46-52. EDN YKIBMG.
19. Vendin S. V. Eksperimental'nye issledovaniya processov SVCH obrabotki semyan : monografiya. Moskva-Belgorod : ООО «Central'nyj kollektor bibliotek «БИБКОМ», 2017. 116 с. ISBN 978-5-905563-87-4. EDN XPQEYP.
20. Vendin S. V. Teoriya i matematicheskie metody analiza elektrodinamiki processov SVCH obrabotki semyan : monografiya. M. : CKB «Bibikom», 2015. 137 с. ISBN 978-5-905563-38-6. EDN TVIVUZ.

Сведения об авторах

Ольга Сергеевна Кузьмина – кандидат технических наук, старший преподаватель агрономического факультета, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный аграрный университет имени В. Я. Горина», spm-код: 2622-3266.

Екатерина Геннадьевна Котлярова – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор агрономического факультета, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный аграрный университет имени В. Я. Горина», spm-код: 9600-9678.

Александр Александрович Муравьев – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент агрономического факультета, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный аграрный университет имени В. Я. Горина», spm-код: 1185-9942.

Дмитрий Алексеевич Лукинов – обучающийся инженерного факультета, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный аграрный университет имени В. Я. Горина», spm-код: 7372-8800.

Information about the authors

Olga S. Kuzmina – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer at the Faculty of Agronomy, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin", spm-code: 2622-3266.

Ekaterina G. Kotlyarova – Doctor of Agricultural Sciences, Full Professor, Professor of the Faculty of Agronomy, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin", spm-code: 9600-9678.

Aleksandr A. Muravyev – Candidate of Agricultural Sciences, Docent, Associate Professor of the Faculty of Agronomy, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin", spm-code: 1185-9942.

Dmitriy A. Lukinov – student of the Faculty of Engineering, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin", spm-code: 7372-8800.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.