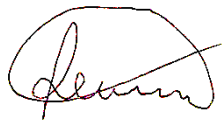


*На правах рукописи*



**Рожков Евгений Александрович**

**ПАРАМЕТРЫ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ ОПТИКО-  
ЭЛЕКТРОННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ СОРТИРОВКИ СЕМЯН  
ПШЕНИЦЫ В СЕЛЕКЦИОННЫХ ЦЕНТРАХ**

Специальность: 4.3.2. Электротехнологии, электрооборудование и  
энергоснабжение агропромышленного комплекса

**Автореферат**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

**Краснодар – 2024**

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина»  
ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ

Научный руководитель **Лебедев Дмитрий Васильевич**  
кандидат технических наук, доцент

Официальные оппоненты: **Башилов Алексей Михайлович**  
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», профессор кафедры теоретической электротехники, институт «Общеинженерный»;

**Судник Юрий Александрович**  
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО РГАУ–МСХА им. К.А. Тимирязева, профессор кафедры автоматизации и роботизации технологических процессов имени академика И.Ф. Бородина.

Ведущая организация: **ФГБНУ «Национальный центр зерна им. П.П. Лукьяненко»**

Защита состоится 29 мая 2024 года в 10:00 часов на заседании диссертационного совета 35.2.019.03 при ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ по адресу: 350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13, Кубанский ГАУ, корпус факультета энергетики, ауд. 110.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета на сайте ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина» [www.kubsau.ru](http://www.kubsau.ru) и ВАК – <https://vak.minobrnauki.gov.ru>.

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат технических наук, доцент  
Самурганов Евгений Ерманекосович



## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Повышение качества сельскохозяйственной продукции – крупнейшая проблема всего агропромышленного комплекса. Она не потеряет своей актуальности даже при всех возможных организациях производства и общества в целом, в любых странах мира, где вообще возможно растениеводство. В повышении качества зерновой продукции важную роль играет анализ и разделение на группы семян на всех этапах производства.

В условиях Кубани озимую пшеницу поражает множество болезней, наиболее распространенными из которых являются фузариоз, септориоз и головня. Вредоносность вышеописанных фитопатологий заключается в нарушении формирования элементов структуры урожая и проявляется в снижении таких показателей, как густота продуктивного стеблестоя культуры, масса 1000 зерен. Также значительно снижаются посевные качества семян. Одним из эффективных и экологичных приемов, способных улучшить ситуацию, является осуществление сортировки семенного материала в селекционных центрах.

Применение оптико-электронных установок (фотосепараторов) в селекционных центрах позволяет осуществлять быстрый и эффективный фитопатологический анализ семян пшеницы, а также обеспечивает качественное разделение зерновой массы на отдельные фракции. Связано это с тем, что оптико-электронный сепаратор является высокоточным автоматическим прибором, который использует машинное зрение и управляется искусственным интеллектом, который способен самообучаться в точности сортировки семенного материала в соответствие с видом сортируемой культуры. Однако для выполнения дополнительных требований к показателям сортовых и посевных качеств семян, которые выдвигаются в селекционных центрах, необходимо определить рациональные параметры и режимы работы оптико-электронной установки для сортировки семян.

**Степень разработанности темы.** Применение оптико-электронных установок для анализа зерновой массы описывается как в отечественных, так и в зарубежных источниках такими авторами, как Барышев Д.Д., Руденко О.В., Остапов Д.С., Андреев С.А., Судник

Ю.А., Бородин И.Ф., Тарушкин В.И., Башилов А.М., Беляков М.В., Ариничев И.В., Петряков А.Н., Барышева Н.Н., Абделхамид М.А.А.

В ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» ведутся исследовательские работы Барышевой Н.Н. и Барышевым Д.Д. в области методологии диагностирования посевного качества семян пшеницы для повышения урожайности. В ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева проводятся исследования Башиловым А.М. в области идентификации и детальной оценки состояния сельскохозяйственной продукции системами компьютерного зрения.

В ФГБНУ «Национальный центр зерна им. П.П. Лукьяненко» ведутся исследования в области цветового анализа и распознавания фитопатологий зерновых, в том числе семян пшеницы.

Несмотря на глубину разработки темы, задача повышения производительности и точности сортировки семенного материала остается актуальной. К основным недостаткам современных оптико-электронных установок относится недостаточно широкий спектр исследуемых физических параметров семян, определяющих посевные качества семенного материала при селекционной работе. Также данные установки не способны проводить фитопатологический анализ, то есть не могут отделить семена, пораженные болезнями и семена других культур, в том числе сорных, от кондиционных семян с высокой энергией прорастания, предназначенных для дальнейшего использования в селекционной работе.

**Научная гипотеза.** Повысить качество разделения на группы и количество селективных критериев семян пшеницы можно путём определения дополнительных физических параметров с помощью оптико-электронного устройства.

**Цель работы.** Обоснование параметров и режимов работы оптико-электронной установки для сортировки семян пшеницы и расширение спектра селективных критериев для повышения качества семенного материала в селекционных центрах.

#### **Задачи исследований.**

1. Выполнить анализ и выбор физических параметров семян пшеницы, определяющих качество семенного материала при селекционной работе.

2. Разработать математическую модель физических параметров семян, определяющую селективные критерии при

сортировке семенного материала в селекционных центрах.

3. Теоретически обосновать параметры и режимы работы оптико-электронной установки для сортировки семенного материала.

4. Разработать алгоритм распознавания семян пшеницы, позволяющий идентифицировать фитопатологии посредством анализа физических параметров семян.

5. Провести экспериментальные исследования, чтобы подтвердить теоретически выбранные рациональные параметры и режимы работы оптико-электронной установки для анализа и сортировки семян пшеницы, в том числе на предмет наличия фитопатологий согласно заданной базе селективных критериев.

6. Произвести экономический расчет эффективности использования в сельскохозяйственных лабораториях и зерноперерабатывающих предприятиях автоматической оптико-электронной установки для анализа и сортировки семян.

**Объектом исследований** являлось оптико-электронное устройство для сортировки семян пшеницы, процесс распознавания изображения анализируемого объекта и выделения физических параметров семян.

**Предмет исследований:** параметры и режимы работы оптико-электронной установки для анализа и сортировки семенного материала, физические параметры анализируемого объекта (семени), позволяющие классифицировать его к определенной группе.

**Методы исследования:** использование методов математического моделирования физических процессов, методы моделирования на компьютере с использованием машинного зрения и распознавания объектов, правила и законы построения оптико-электронных систем, программное обеспечение: AUTUCAD, MATLAB SIMULINK, Microsoft Office 2017, ImageExpert Pro 3. Экспериментальные исследования осуществлялись с использованием методики планирования экспериментов.

**Научная новизна работы:**

– математическая модель физических параметров семян, определяющая селективные критерии при сортировке семенного материала в селекционных центрах;

– электрооптические параметры оптического блока установки, позволяющие получить качественное изображение объекта исследования (семени);

– рациональные параметры и режимы работы оптико-электронного устройства для анализа и сортировки семян пшеницы, позволяющие выявлять фитопатологии согласно определенной базе селективных критериев;

– алгоритм распознавания семян пшеницы, позволяющий идентифицировать фитопатологии посредством анализа физических параметров семян.

#### **Теоретическая и практическая значимость:**

– выбраны физические параметры семян пшеницы, определяющие селективные критерии сортировки семенного материала в селекционных центрах;

– разработана математическая модель физических параметров семян, определяющая селективные критерии при сортировке семенного материала в селекционных центрах;

– обоснованы рациональные параметры и режимы работы оптико-электронного устройства для анализа и сортировки семян пшеницы, позволяющие выявлять фитопатологии согласно заданной базе селективных критериев;

– разработан алгоритм распознавания семян пшеницы, который можно использовать в специализированном программном обеспечении для идентификации фитопатологии посредством анализа физических параметров семян;

– сконструирована и изготовлена экспериментальная оптико-электронная установка для сортировки семян пшеницы по заданным селективным критериям, которая позволяет получить семенной материал с заданными показателями качества в селекционных центрах.

**Реализация результатов исследований.** Результаты исследований в виде программно-аппаратного комплекса апробированы и приняты к использованию для сортировки семенного материала на группы согласно заданным селективным критериям на предприятии ООО «Раздольное».

**Апробация работы.** Результаты работы были апробированы на лабораторной установке. Проводились консультации со специалистами по сортировке семян, проводились эксперименты и работа по оптико-электронному анализу семян пшеницы. Также проходили консультационные беседы с учёными Кубанского ГАУ по защите растений и определению фитопатологий.

Основные положения и результаты работы доложены и обсуждены на ежегодных научных конференциях КубГАУ (2017-2022 г.); на V Международной научно-практической конференции «Теоретический и практический потенциал современной науки» (2019 г., г. Таганрог), на Международной научно-практической конференции «Современная мировая экономика: проблемы и перспективы в эпоху развития цифровых технологий и биотехнологии» (2019 г., г. Москва), на X Международной научно-практической конференции «Передовые инновационные разработки. Перспективы и опыт использования, проблемы внедрения в производство» (2019 г., г. Казань); на XI Международной научно-практической конференции «Передовые инновационные разработки. Перспективы и опыт использования, проблемы внедрения в производство» (2019 г., г. Казань); на Всероссийской научно-практической конференции «Фундаментальные основы научно-технической и технологической модернизации АПК» (2022 г., г. Ставрополь), на Ежегодной научно-практической конференции преподавателей по итогам НИР за 2022г. (КубГАУ, 2023).

**На защиту выносятся следующие положения:**

- математическая модель физических параметров семян, определяющая селективные критерии при сортировке семенного материала в селекционных центрах;
- электрооптические параметры оптического блока установки, позволяющие получить качественное изображение объекта исследования (семени);
- рациональные параметры и режимы работы оптико-электронного устройства для анализа и сортировки семян пшеницы, позволяющие выявлять фитопатологии согласно заданной базе селективных критериев;
- алгоритм распознавания семян пшеницы, позволяющий идентифицировать фитопатологии посредством анализа физических параметров семян;
- результаты сопоставления экспериментального исследования точности и производительности оптико-электронной установки для сортировки семян пшеницы с теоретической математической моделью селективных критериев разделения семенного материала на группы.

**Публикации и личный вклад автора.** Основное содержание диссертации отражено в 15 печатных работах, в том числе: 10 статей в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России. По теме диссертационного исследования получен патент РФ на изобретение.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы, приложений. Диссертация содержит 174 страницы, включая 39 рисунков, 12 таблиц, 8 приложений, списка использованной литературы из 104 наименований.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность работы, сформулированы ее цель, задачи, научная новизна и основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** представлен аналитический обзор научно-технической литературы и патентной базы существующих оптоэлектронных устройств, приборов и систем для осуществления разделения материала на фракции. Также в данной главе проведен анализ диссертационных работ, посвященных проблемам анализа и отбора семенного материала, мониторинга состояния растений, используя современные инновационные технологии и системы компьютерного зрения.

Было установлено, что при работе с семенным материалом важную роль играет изучение их посевных качеств, которые характеризуют степень пригодности их для посева. Основными параметрами, определяющими качества семенного материала и его пригодность к посеву, являются энергия прорастания, лабораторная и полевая всхожесть, травмированность, масса 1000 зерен, сортовая чистота, наличие в зерновой массе семян, пораженных болезнями.

В ходе анализа литературы была собрана классификационная база данных физических параметров семян пшеницы, которая может быть использована в любом оптоэлектронном устройстве для анализа и сортировки сельскохозяйственной продукции. Особенностью данной базы данных является то, что она может дополняться с помощью искусственного интеллекта в автоматическом режиме при выполнении технологического процесса сортировки



семенного материала. В данной базе данных представлены цветовые селективные параметры, определяющие принадлежность семян к той или иной группе по наличию фитопатологий, однако возможно совместное применение данного классификатора с базой данных для сортировки зерна по форме и размеру, что позволит расширить функциональные возможности фотосепараторов.

Были рассмотрены и классифицированы современные фотосепараторы, которые позволяют осуществлять разделение зерновой массы по различным параметрам. В ходе литературного анализа были определены возможности оптико-электронных систем для сортировки сельскохозяйственной продукции, среди которых можно выделить способность осуществлять анализ и разделение семенного материала согласно различным селективным признакам: геометрические размеры и форма, окраска поверхности семян.

Также проведен анализ алгоритмов работы установок для оптической сепарации сельскохозяйственной продукции, на основании которого были определены типовые обобщенные схемы и алгоритмы работы оптико-электронных установок для анализа и сортировки различных объектов. В ходе рассмотрения обобщенных схем и алгоритмов работы устройств, был определен перечень требований и критериев, предъявляемых к процессу цветового анализа сортируемых объектов и к разрабатываемой оптико-электронной установке.

Был проведен анализ существующих оптико-электронных методов анализа и сортировки сельскохозяйственной продукции, в результате которого было установлено, что при конструировании, построении и настройке оптико-электронных сортировщиков семян пшеницы при селекционной работе необходимо учитывать особенности работы алгоритма распознавания сортируемого продукта. Также был проведен анализ существующих алгоритмов обнаружения дефектов анализируемых объектов и выделения селективных признаков оптико-электронным методом. Рассмотренные алгоритмы и методики имеют свои преимущества и недостатки, поэтому для достижения высокой точности сортировки семян пшеницы и получения широкого спектра селективных критериев, необходимо комбинированное использование рассмотренных методик.

**Во второй главе** проведен анализ ключевых факторов (рис. 1), оказывающих влияние на эффективность разделения семенного материала на группы согласно цветовым параметрам. В данной схеме рассмотрено влияние на процесс сортировки материала оптоэлектронной установкой как физических свойств анализируемых объектов, так и принципов построения и технической реализации сепаратора в целом, а также параметров и режимов работы его основных систем и отдельных конструктивных элементов.

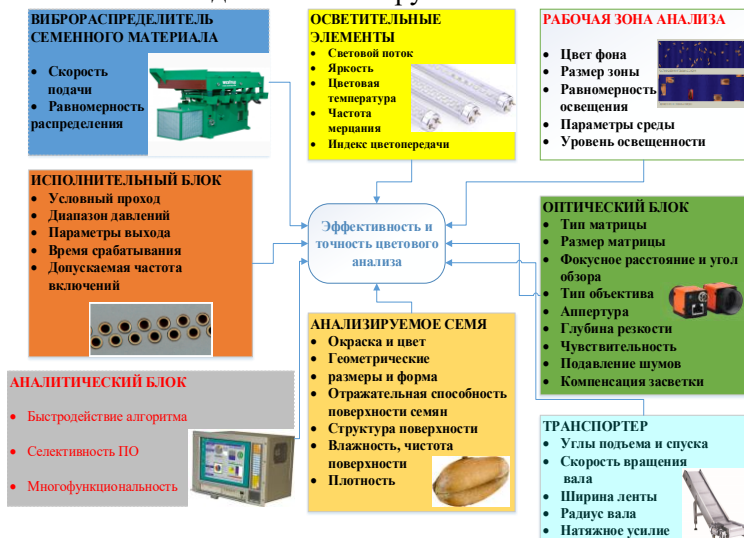


Рисунок 1. Обобщенная схема факторов, влияющих на точность и эффективность цветового анализа семян оптоэлектронным устройством

В целях получения теоретической математической модели физических параметров семян, определяющих селективные критерии при сортировке семенного материала, был проведен анализ применяемых методов обнаружения дефектов объекта по изображению. Наиболее распространенными методами выявления дефектов на объектах являются: выделение дефектов на анализируемом объекте с помощью корреляционного метода; выделение дефектов на анализируемом объекте с помощью преобразования Фурье.

Данные алгоритмы позволяют установить взаимосвязь между входящим изображением анализируемого объекта и шаблонным изображением из базы данных семян при помощи вычисления коэффициента корреляции либо с использованием преобразования Фурье. У каждого из рассмотренных методов выделения дефектов семян есть преимущества и недостатки. Также стоит отметить, что точность работы того или иного метода зависит от селективных признаков. Так, например при разделении семенного материала на группы по признаку наличия фузариоза метод преобразования Фурье имеет более высокую точность, чем корреляционный метод. Таким образом, в современных фотосепараторах целесообразно комплексное использование нескольких методов выделения дефектов семян. Это позволяет достичь высоких показателей точности разделения семенного материала на группы независимо от селективных признаков, используемых при работе оборудования.

Согласно поставленным задачам исследования в данной главе была разработана математическая модель физических параметров семян, определяющую селективные критерии при сортировке семенного материала в селекционных центрах. Предложенная модель основывается на определении геометрических и цветовых параметров, которые определяются с помощью аналитического блока. Геометрические параметры рассчитываются с помощью построения контура объекта (зерна) и дифференцирования по радиус-вектору и углу (рис. 2), а цветовые параметры рассчитываются с помощью программного определения цвета отдельных пикселей изображения анализируемого объекта.

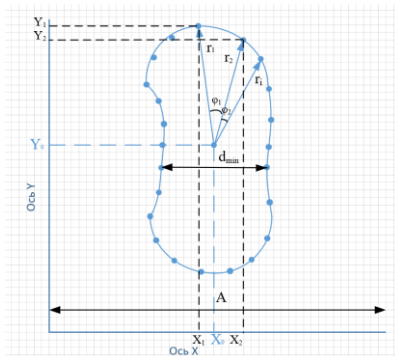


Рисунок 2. Геометрическая область построения контура объекта (зерна) при дифференцировании по радиус-вектору и углу

Первой частью математической модели является выделение 5 областей поверхности семян пшеницы (3 основные области: центральная, верхняя и нижняя, 2 боковые области) и расчет их геометрических параметров согласно системе уравнений 1.

$$\left\{ \begin{array}{l} N_x = 256 \times \frac{A}{d_{min}} \\ \mu = \frac{A}{H_w} \\ r_i = \mu \times \sqrt{(x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_i)^2}, \text{ при условии } x_0 > N_x, y_0 > N_x \quad (1) \\ \varphi = \arctg\left(\frac{y_{i+1}-y_i}{x_{i+1}-x_i}\right) - \arctg\left(\frac{y_{i-1}-y_i}{x_{i-1}-x_i}\right) \\ S_i = \int_{\varphi=0}^{360} r_i \times r_{i+1} \times \arctg\left(\frac{r_{i+1} \times \text{tg} \varphi}{r_i}\right) d\varphi \end{array} \right.$$

где  $N_x$  – количество пикселей анализируемой области семени, шт;  $A$  – ширина зоны анализа объекта, мм;  $d_{min}$  – минимальный размер (диаметр) объекта анализа, мм;  $\mu$  – размер пикселя, мм;  $H_w$  – количество пикселей по ширине зоны анализа, шт;  $r_i$  – радиус-вектор заданной точки выделенного контура, мм;  $x_0, y_0$  – координаты центра заданной области;  $x_i, y_i$  – координаты заданной точки контура;  $\varphi$  – угол между заданными радиус-векторами, град;  $S_i$  – площадь анализируемой области, мм<sup>2</sup>.

Второй частью математической модели является вычисление RGB цветовых параметров отдельного пикселя выделенной области изображения анализируемого семени с помощью программного обеспечения. Для проведения математических расчетов цветовых параметров отдельной области RGB цветовая модель недостаточно эффективна, поэтому после получения параметров RGB оптическим блоком установки, они преобразуются в систему HSV. Вышеописанные операции сведены в систему уравнений 2.

Третьей частью математической модели является построение функции  $z = f(H; S; V)$  распределения цветовых параметров по выделенной области, определение медианы заданной функции распределения цветовых параметров по выделенной области. Также на данном этапе проводится расчет вектора градиента функции распределения цветовых параметров по выделенной области в следующем виде и определение информативных селективных критериев для каждой из 5 выделенных областей. Вышеописанные действия можно свести в систему уравнений 3.

$$\left\{ \begin{array}{l}
 R = \int_{i=1}^{N_x} pixel_{values(R)}, G = \int_{i=1}^{N_x} pixel_{values(G)}, \\
 B = \int_{i=1}^{N_x} pixel_{values(B)} \\
 Max = \max\{R, G, B\}, Min = \min\{R, G, B\} \\
 H = \begin{cases} 0, \text{если } Max = Min \\
 60 \times \frac{G-B}{Max-Min} + 0, \text{если } Max = R \text{ и } G \geq B \\
 60 \times \frac{G-B}{Max-Min} + 360, \text{если } Max = R \text{ и } G < B \\
 60 \times \frac{B-R}{Max-Min} + 120, \text{если } Max = G \\
 60 \times \frac{R-G}{Max-Min} + 240, \text{если } Max = B \end{cases} \\
 S = \begin{cases} 0, \text{если } Max = 0 \\
 100 \times (1 - \frac{Min}{Max}), \text{если } Max \neq 0 \end{cases} \\
 V = Max
 \end{array} \right. \quad (2)$$

где R, G, B – соответственно красный, зеленый, синий компонент цвета пикселя выделенной области; H – цветовой тон пикселя; S – насыщенность цвета пикселя; V – яркость пикселя.

$$\left\{ \begin{array}{l}
 \nabla z_i = \frac{\partial z}{\partial H} i + \frac{\partial z}{\partial S} j + \frac{\partial z}{\partial V} k \\
 |\nabla z_i| = \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial H}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial S}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial V}\right)^2} \\
 \begin{cases} K_1 = \frac{|\nabla z_1| \cdot S_1}{S_1 + S_2 + S_3} \\
 K_2 = \frac{|\nabla z_2| \cdot S_2}{S_1 + S_2 + S_3} \\
 K_3 = \frac{|\nabla z_3| \cdot S_3}{S_1 + S_2 + S_3} \\
 K_4 = \frac{|\nabla z_4| \cdot S_4}{S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5} \\
 K_5 = \frac{|\nabla z_5| \cdot S_5}{S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5} \end{cases}
 \end{array} \right. \quad (3)$$

где K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub>, K<sub>3</sub>, K<sub>4</sub>, K<sub>5</sub> – селективных критерии распределения цветовых параметров центральной, верхней, нижней, правой и левой областей семени соответственно; S<sub>1</sub>-S<sub>5</sub> – площади соответствующих областей, мм<sup>2</sup>; |∇z<sub>1</sub>| - |∇z<sub>5</sub>| – модули векторов градиента функции распределения цветовых параметров соответствующих выделенных зон анализа семени.

Используя предложенную математическую модель физических параметров семян возможно получить широкий спектр селективных критериев, позволяющих разделить семенной материал

оптико-электронным методом на группы согласно заданным показателям качества, предъявляемым к селекционному материалу, в том числе по признаку наличия фитопатологий (фузариоз, септориоз, головня).

Селективные критерии выделяемых областей анализируемых семян зависят непосредственно от площади зоны анализа, а соответственно от размера анализируемого зерна. Поэтому для оценки эффективности использования выбранных селективных критериев при отсортировке семян различных пшеницы, по признаку наличия фитопатологий (фузариоз, септориоз, головня) были построены теоретические графики распределения селективных критериев выделенных областей семян различных размеров (Рис. 3).

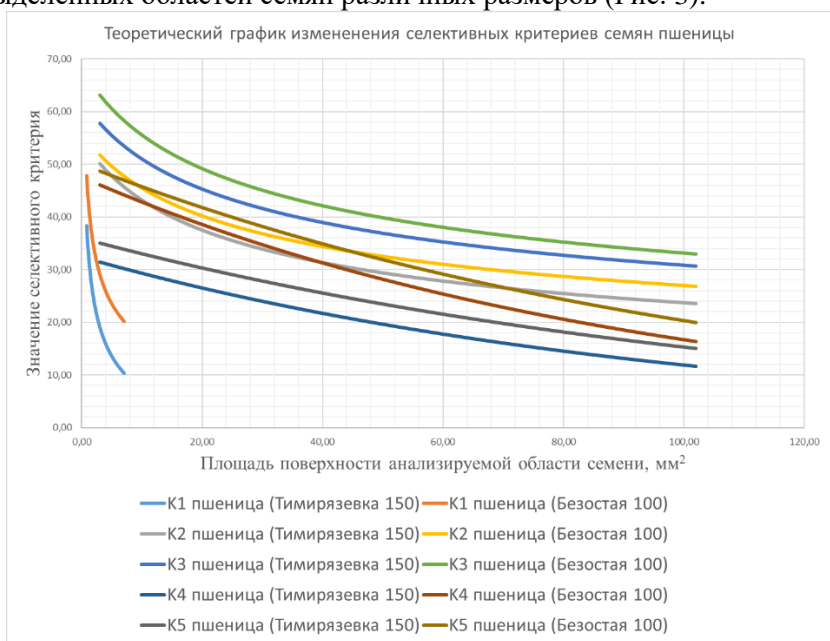


Рисунок 3. Теоретический график зависимости селективных критериев семян пшеницы от площади анализируемой поверхности

Также было проведено обоснование электрооптических параметров оптического блока установки, которые позволяют получить качественное изображение объекта исследования (семени). Для этого был произведен расчет и выбор рациональных значений

фокусного расстояния и углового поля зрения, которые позволят получить качественное изображение объекта, не содержащее в кадре лишних деталей. Представлен расчет диапазона резкости объектива, который позволяет получить четкое изображение без дефектов и размытия фона.

Предложена методика расчета матрицы оптического блока установки для анализа и сортировки семян, которая помогает в выборе и настройке оптического блока на работу с семенами пшеницы различных сортов. Они различаются как по форме, так и по размерам, поэтому для них требуется индивидуальный размер и тип матрицы фотокамеры.

**В третьей главе** было проведено теоретическое обоснование параметров и режимов работы оптико-электронной установки для сортировки семян пшеницы. Для определения рациональных параметров и режимов работы установки расчет должен состоять из следующих последовательных действий: задание требований и условий сортировки семенного материала; определение параметров транспортера и вибропитателя для подачи семян; определение параметров оптического блока для получения качественного изображения; определение селективных критериев, необходимых для точного разделения семенного материала на группы; определение параметров исполнительного блока установки (пневмоэжекторная система отбраковки семян); подведение результатов анализа и выбор режимов работы оптико-электронной установки.

Согласно составленной схеме в качестве основных режимов работы оптико-электронной установки были выбраны 2 автоматических режима: режим повышенной производительности, при котором распознавание семян осуществляется по бинарному изображению в градациях серого цвета; режим повышенной точности определения фитопатологий, при котором распознавание семян осуществляется по цветному изображению.

Также с учетом входных данных, определяющих характеристики сортируемой продукции и требуемую точность разделения семян на группы, были выбраны рациональные параметры экспериментального программно-аппаратного комплекса, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1. Рациональные параметры экспериментальной оптико-электронной установки для сортировки семенного материала

№	Параметр	Выбранное рациональное значение
<b>Блок подачи семенного материала в зону анализа</b>		
1.	Производительность, кг/ч	33–100 кг/ч
2.	Количество лотков, шт.	10
3.	Количество электродвигателей, шт.	5
4.	Тип электродвигателей	АИР 71 В2
5.	Мощность электродвигателей, кВт	1,1
6.	Частота вращения, об/мин	3000
<b>Электромагнитный барабан</b>		
7.	Тип электродвигателя	АИР 71 В2
8.	Частота вращения, об/мин	800-3000
9.	Тип преобразователя частоты	VEDA VF-51
10.	Количество электродов, шт	12
11.	Напряжение электродов, кВ	0,8-1,8
<b>Оптический блок</b>		
12.	Тип камеры	Basler Scout scA1600-28gc
13.	Разрешение (Г x В), пикс.	1624×1234
14.	Сенсор	ICX274
15.	Частота кадров, кадров/с.	28
16.	Тип объектива фотокамеры	Basler Lens C23-1616-2M-S f16mm
17.	Размер сенсора (оптический)	2/3"
18.	Фокусное расстояние, мм	16
19.	Количество	10
<b>Исполнительный блок отбраковки семенного материала</b>		
20.	Количество пневмоэжекторов, шт	360
21.	Расход воздуха, л/мин	≤3000

На основании математической модели физических параметров семян, определяющую селективные критерии сортировки семенного материала, а также с учетом выбранных рациональных параметров и режимов работы, была разработана технологическая схема оптико-электронной установки для сортировки семян пшеницы.

Разработанная оптико-электронная установка состоит из 3 основных систем: блок подачи семян в зону анализа, непосредственно



рабочая зона анализа с фоном, создаваемым светодиодными лампами, исполнительный блок отбраковки семенного материала.

В целях проверки рациональности выбранных параметров и режимов работы, на кафедре физики Кубанского ГАУ была сконструирована и изготовлена экспериментальная опико-электронная установка для сортировки семян пшеницы по заданным селективным критериям, которая позволяет получить семенной материал с заданными показателями качества (Рис. 4).

Базовыми элементами установки являются: электромагнитный барабан для подачи семян в зону анализа, оптический блок для получения изображения анализируемого объекта и аналитический блок (персональный компьютер с программным обеспечением и базой данных параметров семян пшеницы).

Экспериментальное исследование состояло из следующих этапов: изначально были взяты 2 пробные партии семян пшеницы. В каждой партии были 10 эталонных кондиционных семян и 10 семян, пораженных фитопатологиями; был проведен цветовой анализ с определением параметров HSV выделенных областей семян; вычисление геометрических размеров выделенных областей и определение их площади; сравнение полученных цветовых параметров с эталонными значениями и получение селективных критериев для классификации семян по группам; Проверка полученных результатов с помощью фитопатологического анализа методом питательных сред в лаборатории.



А)



Б)

а) вид спереди б) вид сбоку

Рисунок 4. Фотографии экспериментальной опико-электронной установки для сортировки семян пшеницы

В результате из партии пшеницы было выделено 64 кондиционных зерна и 36 семян, пораженных фитопатологиями с точностью 95,8% согласно лабораторному исследованию. Из проведенных исследований можно сделать вывод, что предлагаемое оптико-электронное устройство для сортировки семян пшеницы способно осуществлять эффективное разделение на отдельные группы семян пшеницы с достаточно большой точностью.

Согласно поставленным задачам исследования было проведено сопоставление экспериментального исследования точности и производительности оптико-электронной установки для сортировки семян пшеницы с теоретической математической моделью селективных критериев разделения семенного материала на группы. Экспериментальные исследования точности определения селективных критериев осуществлялись с использованием методики планирования экспериментов.

Для этого было произведено опробирование оптико-электронной установки по выделению пяти селективных критериев:  $K_1$  для центральной области семени,  $K_2$  для верхней области семени,  $K_3$  для нижней области семени,  $K_4$  для правой области семени,  $K_5$  для левой области семени. Данные селективные критерии определяют основные показатели качества семенного материала, именно поэтому от точности их определения зависит эффективность разделения семян на группы оптико-электронной установкой. Экспериментальное исследование проводилось при отсортировке двух партий семян пшеницы сортов Безостая 100 и Тимирязевка по 1000 семян каждая. Результаты проведенного исследования представлены в виде графиков распределения пяти селективных критериев выделенных областей, которые приведены на рисунке 5.

Для сопоставления теоретических данных распределения селективных критериев семян пшеницы, полученных на основе разработанной математической модели, с данными, полученными на основе проведенного экспериментального исследования на оптико-электронной установке для сортировки семенного материала, была использована методика расчета случайных погрешностей прямых многократных измерений, в основе которой лежит закон нормального распределения случайных величин Гаусса. Анализируя полученные графики, можно прийти к выводу, что величины цветовых параметров

с вероятностью в 93 % попадают в промежуток  $[M-3\sigma; M+3\sigma]$ . При проведении анализа и идентификации фитопатологий опико-электронной установкой доверительной вероятностью является значение 92%, поэтому полученные погрешности можно считать допустимыми.

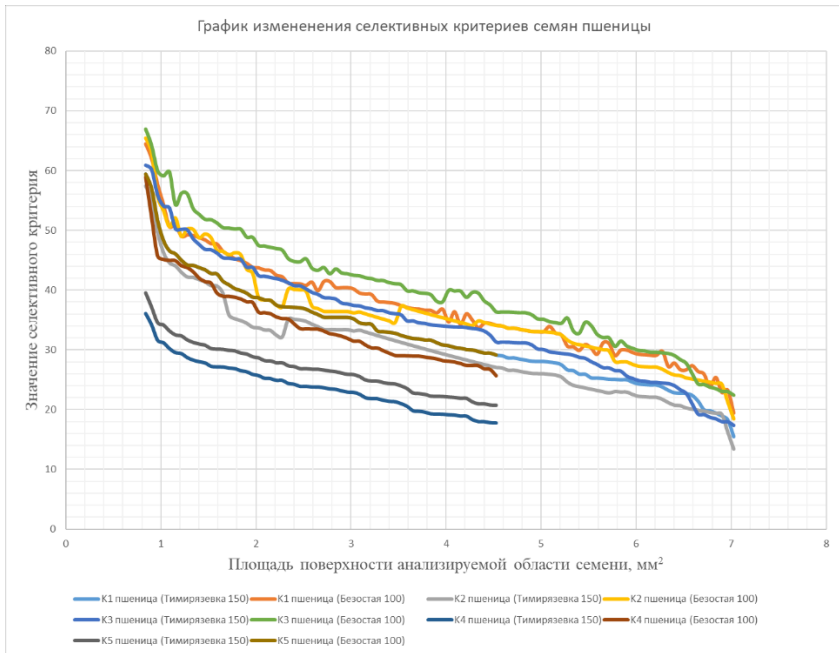


Рисунок 5. Экспериментальный график зависимости селективных критериев семян пшеницы от площади анализируемой поверхности

Таким образом, можно установить, что расхождение теоретических и экспериментальных данных по определению селективных критериев составляет не более 7%. Связано это в первую очередь с тем, что семена являются биологическим материалом, параметры которого могут меняться в зависимости от условий окружающей среды и условий хранения. Данное расхождение не способно оказать большого влияния на качество выходного семенного материала, потому что построенная установка является аппаратно-программным комплексом с обучаемым искусственным интеллектом

на основе нейронных сетей, благодаря которому база данных сортируемых семян будет обновляться в режиме реального времени, увеличивая при этом показатели точности и производительности.

Также в данной главе был проведен расчет экономической эффективности применения оптико-электронной установки для сортировки семенного материала в селекционных центрах. Для получения селекционного материала с заданными показателями качества необходимо применение фотосепараторов, обеспечивающих максимальную точность разделения зерновой массы на группы по широкому спектру селективных признаков. Поэтому, проведенный экономический расчет был выполнен в сравнении с фотосепаратором Meuer CG10, точность сортировки которого достигает 99,9%.

Данный расчет показал, что внедрение экспериментальной оптико-электронной установки для сортировки семян пшеницы в селекционно-семеноводческих центрах позволит получить экономический эффект в размере 211928 рублей, а срок окупаемости предлагаемой установки составляет 1 год 2 месяца.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

### **Итоги выполненного исследования**

1. Установлено, что к семенному материалу, который используют в селекционных технологиях, предъявляются требования: масса 1000 семян, сортовая чистота, общее количество примесей, поражение семян фитопатологиями и всхожесть семян. В качестве физических параметров семян пшеницы, которые можно использовать при выборе рациональных параметров и режимов работы оптико-электронных сортировщиков, были приняты следующие параметры: форма, геометрические размеры и цвет отдельных областей поверхности семян.

2. Предложена математическая модель физических параметров семян пшеницы, определяющих селективные критерии, необходимые для цветового анализа и сортировки семенного материала с заданной точностью и производительностью. Предложенная модель основывается на определении геометрических и цветовых параметров 5 областей поверхности семян. В математической модели предложены уравнения, позволяющие рассчитать площади и градиент цветовых параметров HSV выделенных областей семени. Данные уравнения позволяют определить селективные критерии, на основании которых

происходит разделение семенного материала на группы.

3. Было проведено теоретическое обоснование параметров и режимы работы оптико-электронной установки для сортировки семенного материала и разработана технологическая и принципиальная схемы. С учетом входных данных, были выбраны рациональные параметры электромагнитного барабана для подачи семян в зону анализа, оптического блока для получения изображения анализируемого объекта, исполнительного блока отбраковки материала и аналитического блока.

В результате обоснования были выбраны 2 режима работы оптико-электронной установки: режим повышенной производительности, при котором распознавание семян осуществляется по бинарному изображению в градациях серого цвета; режим повышенной точности определения фитопатологий, при котором распознавание семян осуществляется по цветному изображению.

4. Проведено обоснование электрооптических параметров оптического блока установки, которые позволяют получить качественное изображение объекта исследования (семена). Так, в ходе расчета было установлено, что необходимо использовать объективы со следующими рациональными значениями фокусного расстояния  $F$ : 8 мм, 16 мм, 25 мм, что обеспечивает требуемую резкость изображения в пределах от 8,55 до 247,8 мм и позволяют получить качественное изображение анализируемого объекта. Расчет показал, что для получения качественного изображения анализируемого объекта необходима матрица с разрешением не менее 1,54 Мп.

5. Разработан уникальный алгоритм работы оптико-электронной установки для сортировки семян пшеницы. Разработанный мной алгоритм состоит из 3 основных блоков: подача объектов в зону анализа, непосредственно сам анализ изображения, полученного оптическим блоком, блок отбраковки материала. Алгоритм сортировки семенного материала на группы, согласно рассчитанным селективным критериям, состоит из 2 основных частей:

– процесс отсортировки семян других культур и механических примесей на этапе подачи семенного материала на электромагнитный барабан;

– процесс отбраковки семян, пораженных фитопатологиями, на этапе распознавания изображения семян в аналитическом блоке

согласно заданным селективным критериям.

6. Согласно выбранным рациональным параметрам и режимам работы, было изготовлено экспериментальный программно-аппаратный оптико-электронный комплекс для анализа и сортировки семян пшеницы, в том числе на предмет фитопатологий. Проведено экспериментальное исследование точности получения цветовых параметров при обработке изображения анализируемого объекта. В результате было установлено, что точность определения цветовых параметров по изображению составляет не менее 95%, что соответствует установленным требованиям разработанной методики цветового анализа семян.

Также было проведено сопоставление полученных экспериментальных и теоретических графиков распределения селективных критериев согласно математической модели физических параметров семян пшеницы для выделенных областей поверхности семени. Расхождение теоретических и экспериментальных данных по определению селективных критериев составляет не более 7%.

7. Внедрение многокритериальной оптико-электронной установки для сортировки семян пшеницы в селекционно-семеноводческих центрах позволит получить экономический эффект в размере 211928 рублей. Срок окупаемости предлагаемой установки составляет 1 год 2 месяца.

### **Рекомендации производству**

При производстве оптико-электронных установок для сортировки семенного материала рекомендуется в качестве подающего устройства использовать электромагнитный барабан, внешняя сторона которого покрывается тонкой изолирующей плёнкой белого цвета с целью изоляции электродов и создания белого фона. При использовании фотокамер линейного типа вместо матричных в оптико-электронной установке необходимо вносить корректировки в методику цветового анализа изображений объектов.

### **Перспективы дальнейшей разработки темы**

Полученную математическую модель физических параметров семян, определяющих селективные критерии сортировки семенного материала, можно использовать в различных сферах АПК для сортировки продукции. Предлагаемые методы цветового анализа и

оптико-электронная установка могут быть использованы в других отраслях экономики: в горнодобывающей промышленности для сортировки минералов, сортировке бытовых отходов и других отраслях, где необходимо разделение материала на группы.

## **ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОТРАЖЕНЫ В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ:**

*– в изданиях из перечня ВАК:*

1. Рожков, Е. А. Отсортировка по цвету зараженных фузариозом и головней семян пшеницы в многокритериальном фотоэлектронном сепараторе / Д. В. Лебедев, Е. А. Рожков // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2019. – № 4(37). – С. 25-29.

2. Рожков, Е. А. Применение электротехнологических оптико-электронных способов в хлебопекарном производстве для определения качества пшеничной муки и концентрации мучной пыли в воздухе / Д. В. Лебедев, Е. А. Рожков, В. А. Леонов, И. Д. Мальнев // АгроЭкоИнфо. – 2019. – № 4(38). – С. 35.

3. Рожков, Е. А. Способы оптико-электронного анализа при сортировке семян сельскохозяйственных культур / Д. В. Лебедев, Е. А. Рожков, С. Н. Харченко // АгроЭкоИнфо. – 2019. – № 3(37). – С. 40.

4. Рожков, Е. А. Оптико-электронная установка для подсчета семян сельскохозяйственных культур / Н. Н. Курзин, Д. В. Лебедев, Е. А. Рожков, В. А. Безверхий // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2020. – Т. 67, № 3(40). – С. 115-119.

5. Рожков, Е. А. Применение multifunctional технологий оптико-электронного зрения для калибровки и анализа семян / Д. В. Лебедев, Е. А. Рожков, Д. С. Абрамцов // Вестник Курганской ГСХА. – 2020. – № 2(34). – С. 67-74.

6. Рожков, Е. А. Разработка оптико-электронной установки для анализа и сортировки зерновой продукции / Д. В. Лебедев, Е. А. Рожков // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2021. – Т. 68, № 2(43). – С. 68-77.

7. Рожков, Е. А. Зависимость качества изображения объекта от угла наклона камеры фотосепаратора / Д. В. Лебедев, Е. А. Рожков, Е. Е. Рудь // Сельский механизатор. – 2022. – № 1. – С. 28-29.

8. Рожков, Е. А. Параметры распознавания семян кукурузы по цвету опико-электронным методом / Д. В. Лебедев, Н. Н. Курзин, Е. А. Рожков // Сельский механизатор. – 2022. – № 1. – С. 26-27.

9. Рожков, Е. А. Расчет экономической эффективности опико-электронной установки для сортировки семян различных зерновых культур / Е. А. Рожков // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2022. – Т. 69, № 4(49). – С. 25-30.

10. Рожков, Е. А. Исследование методов обнаружения дефектов семян пшеницы по изображению современными фотосепараторами / И. В. Юдаев, Е. А. Рожков // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2023. – № 4(76). – С. 76-84.

*– в прочих изданиях:*

11. Рожков, Е. А. Применение опико-электронных сепараторов для сортировки семян пшеницы по заданным физическим параметрам / Е. А. Рожков // Теоретический и практический потенциал современной науки: сборник научных статей. Том Часть V. – Москва: Издательство "Перо", 2019. – С. 147-150.

12. Рожков, Е. А. Повышение эффективности сортировки семян пшеницы путем использования опико-электронного анализа / Е. А. Рожков // Современная мировая экономика: проблемы и перспективы в эпоху развития цифровых технологий и биотехнологии : Сборник научных статей по итогам работы девятого международного круглого стола, Москва, 15–16 декабря 2019 года. Том Часть 2. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "КОНВЕРТ", 2019. – С. 155-157.

13. Рожков, Е. А. Исследование зараженности семян пшеницы фузариозом опико-электронным методом / Д. В. Лебедев, Е. А. Рожков // Передовые инновационные разработки. Перспективы и опыт использования, проблемы внедрения в производство : Сборник научных статей по итогам десятой международной научной конференции, Казань, 30 ноября 2019 года. Том Часть 1. – Казань: Общество с ограниченной ответственностью "КОНВЕРТ", 2019. – С. 165-167.

14. Рожков, Е. А. Опико-электронный анализ семян пшеницы на предмет наличия фузариоза / Д. В. Лебедев, Е. А. Рожков // Год науки и технологий 2021 : Сборник тезисов по материалам Всероссийской научно-практической конференции, Краснодар, 09–12



февраля 2021 года / Отв. за выпуск А.Г. Коцаев. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2021. – С. 145.

### *Патент*

15. Пат. 2809855 Российская Федерация, МПК В07В 13/00 (2006.01), В07С 5/342 (2006.01) Оптико-электронное устройство для сортировки семян сельскохозяйственных культур / Е. А. Рожков, Д. В. Лебедев, В. А. Дробот, А. А. Гребенщикова, В. А. Лебедева, И. Д. Лебедев, В. Д. Лебедев; патентообладатель ФГБОУ ВО "Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина". – №2023112856; заявлено 17.05.2023; опубликовано 19.12.2023.

Научное издание

**Рожков Евгений Александрович**

**ПАРАМЕТРЫ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ ОПТИКО-  
ЭЛЕКТРОННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ СОРТИРОВКИ СЕМЯН  
ПШЕНИЦЫ В СЕЛЕКЦИОННЫХ ЦЕНТРАХ**

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Подписано в печать \_\_\_\_\_ Формат 60 x 84 <sup>1/16</sup>

Усл. печ. л. – 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № \_\_\_\_\_

Издательство «ЭДВИ»

Россия, 350012, г. Краснодар, ул. Лукьяненко, 95/3,  
тел./факс: (861)222-01-02, 222-75-55, 220-12-56,

e-mail: [info@edvi.ru](mailto:info@edvi.ru)



