

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ И.Т.ТРУБИЛИНА»

На правах рукописи



Рожков Евгений Александрович

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

4.3.2-Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение
агропромышленного комплекса

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
кандидат технических наук
Лебедев Дмитрий Васильевич

Краснодар 2024

СОДЕРЖАНИЕ

	ВВЕДЕНИЕ	4
1	ТЕХНОЛОГИИ СОРТИРОВКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ И СУЩЕСТВУЮЩИЕ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ ЦВЕТОВОГО АНАЛИЗА ОБЪЕКТОВ	10
1.1	Состояние проблемы сортировки семян пшеницы в селекционных центрах	10
1.2	Современное оптико-электронное оборудование для цветового анализа и сортировки семян различных сельскохозяйственных культур	20
1.3	Анализ существующих оптико-электронных методов анализа и сортировки сельскохозяйственной продукции	28
1.4	Выводы и задачи исследований	34
2	РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СЕЛКТИВНЫХ КРИТЕРИЕВ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО УСТРОЙСТВА ПРИ СОРТИРОВКЕ СЕМЕННОГО МАТЕРИАЛА	38
2.1	Выбор селективных критериев и методики их определения при сортировке семян пшеницы в селекционной работе	38
2.2	Разработка математической модели физических параметров семян, определяющую селективные критерии сортировки семенного материала при селекционной работе	54
2.3	Расчет электрооптических параметров оптического блока установки для сортировки семенного материала	69
2.4	Выводы	83
3	МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ СОРТИРОВКИ СЕМЯН ПШЕНИЦЫ	85
3.1	Теоретическое обоснование параметров и режимов работы оптико-электронной установки для сортировки семенного материала по заданным селективным критериям	85
3.2	Разработка алгоритма работы оптико-электронной установки для сортировки семенного материала	99
3.3	Методика проведения экспериментальных исследований оптико-электронной установки для сортировки семенного материала	102
3.4	Результаты экспериментального исследования оптико-электронной установки для сортировки семенного материала по заданным селективным критериям	110
3.5	Расчет экономической эффективности применения оптико-электронной установки для сортировки семенного материала в селекционных центрах	122

3.6	Выводы	128
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	131
	Список литературных источников	134
	ПРИЛОЖЕНИЯ	149
	Приложение 1	149
	Приложение 2	151
	Приложение 3	153
	Приложение 4	154
	Приложение 5	155
	Приложение 6	156
	Приложение 7	163
	Приложение 8	172

ВВЕДЕНИЕ

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.

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.

1. ТЕХНОЛОГИИ СОРТИРОВКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ И СУЩЕСТВУЮЩИЕ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ ЦВЕТОВОГО АНАЛИЗА ОБЪЕКТОВ

1.1 Состояние проблемы сортировки семян пшеницы в селекционных центрах

Роль зерновых культур как основного источника производства наиболее важных продуктов питания для людей, а также концентрированных и грубых кормов для животных общеизвестна. С учетом этого проблема увеличения производства зерна по-прежнему остается одной из главных в сельском хозяйстве.

В Краснодарском крае основой всего производства зерна являются такие культуры, как пшеница, ячмень и кукуруза. На Краснодарский край приходится более 15% общего объема урожая пшеницы в РФ. Так как пшеница является основой всего агропромышленного комплекса, то рассмотрим подробнее ее основные свойства, сфер применения, возникающие проблемы при посеве и сборе урожая и средства для их устранения.

В России из семян пшеницы изготавливают муку, которая в дальнейшем идет на производство различных хлебобулочных изделий. При помоле пшеницы в муку из верхней оболочки семени изготавливают отруби. Пшеничные отруби широко используются во всех сферах экономики: в медицине, при назначении диетических столов, в производстве кормов для животных. Такое широкое применение отрубей связано с тем, что они богаты белками и различными витаминами. Также из пшеничных ядер производят различные виды круп, которые представлены на полках всех магазинов: кускус, манную крупу, булгур. Немаловажной сферой применения пшеницы является использование ее в ликероводочной промышленности как основной растительной массы для изготовления спирта, водки, пива [5].

В новых обстоятельствах слова «производственная безопасность страны» приобрели особую актуальность. С одной стороны, всё хорошо: хлеб

печётся из отечественного зерна, сахар производится из отечественной свёклы. Однако наглядно наблюдается зависимость России от зарубежных партнеров в плане семенного материала. Так, зависимость России от импортных семян достигает по разным культурам составляет от 50 до 80%. Именно поэтому вопрос обеспечения агропромышленного комплекса качественным семенным материалом от отечественных селекционеров является актуальным.

Основной задачей в селекционной технологии является получение здорового качественного семенного материала. Для решения данной задачи применяется сортировка зерна на группы согласно заданным селективным критериям с помощью специальных технических устройств-сепараторов. Для выбора сепараторов с рациональными параметрами и режимами работы, рассмотрим требования, предъявляемые к семенному материалу.

Одним из основных способов повышения урожайности и качества семенного материала является возделывание лучших районированных сортов и гибридов, приспособленных к агроклиматическим условиям зоны возделывания [11]. В диссертационной работе Скворцовой Ю.Г. «Посевные качества семян сортов озимой мягкой пшеницы и пути их улучшения» было доказано, что в повышении урожайности большое значение имеет качество высеваемого материала, которое производится селекционными предприятиями. Поэтому сельхозпроизводители предъявляют к качеству семян требования, которые отражены в государственном стандарте на сортовые и посевные качества семян ГОСТ Р 52325-2005. Согласно нему семена зерновых культур классифицируют на оригинальные (ОС), элитные (ЭС), репродукционные для семенных целей (РС), репродукционные для производства товарной продукции (РСт). Данные классы зерновых культур различаются по посевным параметрам, определяющим возможность использования зерна в той или иной области сельскохозяйственного производства.

Для получения качественного семенного материала селекционерам рекомендовано использование оригинальных либо элитных классов зерновых, потому что в селекционной технологии большую роль играют не объемы производства, а качество выходного семенного материала. Поэтому рассмотрим в первую очередь параметры, определяющие посевные качества оригинальных (ОС) и элитных (ЭС) классов пшеницы.

Прежде всего государственный стандарт обуславливает необходимость высокой сортовой чистоты. Немаловажным фактором является чистота семенного материала, отсутствие в нем примесей, которыми являются камни, металлические объекты, семена сорных растений, ворох, листья, расколотые семена, семена, пораженные болезнями. Примеси также сокращают срок хранения семян и способствуют засорению посевов. Так, для пшеницы класса ОС и ЭС сортовая чистота должна составлять не менее 99,7%, а общая чистота зерновой массы должна быть не менее 99% [16].

Государственный стандарт также устанавливает содержание семян других растений в семенном материале. Данный параметр измеряется в шт/кг и позволяет дать определенную оценку эффективности сортировки зерновой массы тем или иным техническим устройством. Для пшеницы класса ОС и ЭС допускается содержание семян других растений в количестве 8-10 шт/кг, в том числе 3-5 шт/кг семян сорных растений.

Немаловажная роль в государственном стандарте ГОСТ Р 52325-2005 отведена наличию в зерновой массе семян, пораженных болезнями (головневые образования, фузариозные грибки и склероции спорыньи). Так для пшеницы класса ОС, предназначенной в первую очередь для селекционных работ, примеси семян, пораженных болезнями не допускаются, а для пшеницы класса ЭС допускается содержание склероции спорыньи в 0,01%.

Посевные качества – это совокупность всех свойств семян, характеризующих 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 и др. Одним из главных признаков посевных качеств семян является всхожесть. Всхожесть – это способность семян прорасти и образовывать нормально развитые проростки. В то же время из практики и литературных источников известно, что семена колосовых культур, имеющие высокую всхожесть в лабораторных условиях, в поле зачастую имеют более низкие значения. Так, для пшеницы класса ОС и ЭС лабораторная всхожесть должна составлять не менее 92% [17].

Энергия прорастания стандартами на семена не нормируется, но ее значение велико. Она определяет синхронность роста и развития растений, а также налив зерна, что повышает их качество. В работах Фирсовой М.К. и Сечняк Л.К. доказано, что чем выше энергия прорастания, тем быстрее и дружнее появляются всходы.

Одним из основных требований, предъявляемых к сортовым и посевным качествам семенам государственным стандартом, является влажность. Влажность имеет большое значение при сохранении посевных качеств семян. Семена, имеющие влажность выше допустимой, плохо хранятся и снижают всхожесть.

Масса 1000 семян – это один из признаков качества посевного материала, который характеризует количество вещества, содержащегося в зерне, полновесность, выполненность и их крупность. Определено, что чем крупнее зерно, тем выше масса 1000 семян. Масса 1000 семян – это сортовой признак, но в большей степени он зависит от условий произрастания. В диссертационной работе Фирсовой Т.И. «Сортовые и урожайные качества семян озимой пшеницы в первичных звеньях семеноводства в зависимости от приемов отбора элитных растений» было установлено, что этот признак более постоянен, чем другие элементы структуры урожая.

Также государственным стандартом устанавливаются геометрические размеры семян. Линейные размеры семян – это длина, ширина и толщина. Длина – это расстояние между основанием и верхушкой семени. Ширина –

наибольшее расстояние между боковыми сторонами. Толщина–расстояние между спинной и брюшной стороной. Совокупность этих размеров называется крупностью.

Исходя из требований, предъявляемых к посевному материалу, следует, что он должен быть чистым, без примесей, с высокой всхожестью и энергией прорастания. Семена должны быть выполненными и полновесными. Рассчитывая посевную годность, по значениям чистоты и всхожести семян, вносят поправки к нормам высева.

Получение высокого урожая обеспечивают семена повышенной сортовой чистоты, высоких посевных качеств и урожайных свойств при соответствующей технологии выращивания.

Получить семенной материал с требуемыми показателями качества можно путем отсортировки на специальном техническом оборудовании – сепараторах. Данные технические устройства позволяют разделить зерно на группы согласно заданным селективным признакам. К селективным признакам можно отнести следующие параметры, определяющие посевные качества семян: масса 1000 семян, влажность, сортовая чистота, наличие примесей, в том числе семян, пораженных болезнями. Всхожесть семян также можно отнести к селективным признакам, однако данный параметр зависит от внутренней энергии прорастания семян и определить ее технически без проведения лабораторных исследований невозможно.

Именно поэтому требуется сортировка зерна на отдельные группы для получения качественного семенного материала, который можно использовать в селекционном производстве. Очистка необходима для того, чтобы удалить из всего зерна примеси, а также щуплые и поврежденные зерна. Сортирование зерна предусматривает разделение его на сорта с целью выделения высококачественного посевного материала, а также продовольственного и фуражного.

Очистка и сортирование сводятся к разделению (сепарации) зерновой смеси на отдельные фракции, различающиеся по каким-либо свойствам или

признакам (например, размерам, свойству поверхности, плотности и др.). Зерноочистка является одной из важнейших стадий переработки зерновых культур. Очистка зерна от примесей представляет собой трудоемкий процесс, который может проходить в несколько этапов [1, 11].

Согласно проведенному анализу различных литературных источников, применение фотоэлектронных сепараторов является наиболее перспективным технологическим решением на этапах селекции новых сортов растений и промышленного семеноводства, где в настоящее время преобладают либо групповые методы контроля и отбора, либо индивидуальные методы, осуществляемые вручную. В растениеводстве и семеноводстве в настоящее время широко применяется, ситовая, механическая, сортировка преимущественно для больших партий зерна, потому что для достижения целей данной отрасли сельского хозяйства достаточно выполнение требований, предъявляемых государственным стандартом к качеству семенного материала.

Отбор – самый старый метод улучшения растений. Еще в недалеком прошлом он был основным методом селекции. В настоящее время для задач селекции растений доля ручной работы все еще остается очень большой, потому что в селекционной технологии важную роль играет не количество семенной материала, а его высокое качество. Для достижения высоких показателей качества семенного материала, необходимо расширение количества селекционных признаков, на основании которых производится сортировка зерна, а существующие в настоящее время технические устройства не обеспечивают данное требование.

Во-первых, при сортировке пшеницы, в целях получения качественного семенного материала возникает необходимость отделить семена от примесей, (рисунок 1.1), которыми являются камни, металлические объекты, семена сорных растений, ворох, листья, расколотые семена, семена, пораженные болезнями [11].



Рисунок 1.1. Примеси в зерновой массе пшеницы [11]

При сортировке семенного материала, предназначенного для селекционных работ, на группы происходит отделение на группу кондиционных семян, удовлетворяющих заданным селективным параметрам, группу некондиционных семян, которые можно использовать для помола и для использования в других отраслях растениеводства, группу семян, пораженных болезнями, которые должны пройти дополнительную обработку, группу механических примесей-отходов.

Для решения поставленной задачи разделения на несколько групп зерновой массы пшеницы традиционные воздушно-механические способы отчистки и разделения зерна не подходят, поэтому в этом случае эффективно применение оптико-электронных методов сортировки.

Оптико-электронная сортировка (фотосепарация) построена на использовании такого важного параметра объекта, как цвет. Этот параметр идентифицируется и анализируется по заранее заданному, основываясь на требованиях и критерии, предъявляемые к качеству посевного семенного материала [2]. Именно эта особенность фотосепаратора характеризует и определяет высокую эффективность, скорость и качество разделения зерна за счет возможности введения дополнительных селективных критериев и признаков в алгоритм работы установки. Установка способна определить с помощью высокоточных фотокамер самые небольшие несоответствия в сортируемом продукте и отбраковывает его (рисунок 1.2).



а



б

а – кондиционная пшеница, б – отбракованный семенной материал

Рисунок 1.2. Результат работы оптико-электронного сепаратора [18]

Примесями являются камни, металлические объекты, семена сорных растений, ворох, листья, расколотые семена, жучки и вредители, семена, пораженные болезнями (фузариоз, септориоз, головня и другие). Именно такой селективный признак, как наличие фитопатологий на семенах пшеницы, является важным при проведении селективной работы, однако в настоящее время не используется в современных фотосепараторах [1]. Связано это в первую очередь с тем, что фотосепараторы нацелены на применение в зерноочистительной сфере АПК, где требуются высокие показатели производительности установки.

На рисунке 1.3 приведено изображение зерна пшеницы, поврежденного в результате транспортировки, но без следов болезней, цвет семени в пределах от светло-коричневого до бурого, что является нормальным для данного вида культуры. Данное зерно может использоваться для дальнейшего использования без дополнительной обработки. Также на рисунке 1.3 представлены семена с признаками фузариоза, цвет поменялся на светло-бурый и появились сморщивания.

Семена являются источником и передатчиком инфекции таких болезней зерновых культур, как различные виды головни, гельминтоспориозная и фузариозная корневые гнили, септориоз и бактериоз. Заражение зерновых

культур различными видами головни возможно при наличии таких факторов, как: восприимчивый сорт; вирулентная популяция гриба; оптимальные для возбудителя погодные условия. По характеру передачи инфекции головневые болезни подразделяются на 2 группы: с наружной и внутренней инфекцией. Чем выше заспоренность семян, тем значительнее поражение растений, а влияние фактора погодных условий значительно ниже. Наружные виды головни, или контактно-семенные инфекции. У этих видов инфекция находится на поверхности семени или под колосовыми пленками.



а



б

а – механическое повреждение семени, б – поражение семян пшеницы фузариозом

Рисунок 1.3. Наиболее распространенные дефекты семян пшеницы [24]

Вопрос целесообразности защиты от семенных и почвенносеменных инфекций решается на основании результатов фитоэкспертизы семян, апробации посевов, условий хранения и уборки зерна. Семена в период формирования, уборки и хранения заселяются многочисленными эпифитными и сапрофитными грибами родов *Penicillium*, *Aspergillus*, *Alternaria*, *Mucor* и др. Плесневые грибки интенсивно развиваются при повышенной влажности зерна (15-16%) и снижают полевую всхожесть семян. В зерне при 18% содержания влаги и уравновешивающей относительной влажности воздуха 85% создаются оптимальные условия для максимального роста данных видов грибов. В свою очередь, развитие плесневых грибов вызывает подогревание зерна, что

благоприятно сказывается на возникновении вредителей зерна. Такое зерно резко теряет семенные и товарные качества, что влечет за собой большие потери. Даже при соблюдении всех регламентов хранения не исключаются потери продукции от данных вредных организмов в размере 10% [31].

Определение поражения семян различными фитопатологиями проводится с помощью фитоэкспертизы в специально оборудованных лабораториях. Основным преимуществом данного вида исследования качества зерновых является высокая точность. Однако оно имеет ряд недостатков:

1. время проведения исследования составляет от 10 до 20 дней;
2. фитоэкспертиза проводится в специально оборудованной лаборатории, количество которых на территории РФ невелико;
3. высокая стоимость проведения анализа;
4. малый охват исследования (фитоэкспертиза проводится для определенной партии зерна в количестве от 10 до 5000 семян);

Для устранения данных недостатков возможно использование опико-электронных средств распознавания и сортировки сельскохозяйственной продукции (фотосепараторы). Данные установки можно использовать как при работе с селекционным семенным материалом, так и для экспресс-анализа качества зерна. Для эффективной работы данных установок необходима база данных семян, включающая селективные признаки выявления фитопатологий

Для более точного определения поражения семян фитопатологиями был проведен ряд исследований над семенами в количестве 50 шт. и настройка программного обеспечения. В целях получения классификационной базы данных семян, которая необходима для рациональной работы фотосепараторов, было взято 5 партий семян по 10 шт. Из них: 4 партии были поражены различными фитопатологиями, которые были установлены с помощью фитоэкспертизы, одна партия семян была высшего класса без следов болезней. Подбор параметров и селективных признаков производился по выделению отдельных областей на поверхности семени (верхняя, нижняя,

центральная), определению их площадей (S) и выделению цветовых параметров RGB заданных секторов. По данным подбора была составлена таблица, представленная в приложении 2.

Разработанная классификационная база данных семян может быть использована в любом оптико-электронном 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 критерии, 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.

Таким образом, за счет широких функциональных возможностей в оценке и анализе семян и благодаря возможности расширения функциональных возможностей установок путем обновления баз данных цветовых селективных критериев, оптико-электронные сортировщики сельскохозяйственной продукции находят широкое применение на агропромышленных предприятиях для экспресс-анализа, сортировки и разделения зерновой массы. Также благодаря высокой точности в оценке качества семян оптико-электронный метод сортировки зерна возможно использовать для селекционного отбора семенного материала.

1.2 Современное оптико-электронное оборудование для цветового анализа и сортировки семян различных сельскохозяйственных культур

Оптико-электронная установка для анализа и контроля зерновой массы (фотосепаратор) — технологическое оборудование, способное выполнять разделение любой сыпучей массы, которое использует в качестве базового

параметра сортировки цветовую характеристики поверхности. В таких установках для идентификации объектов могут применяться как монохромные камеры (CCD, CMOS) ИК-камеры (IR), так и цветные (RGB) [3, 10].

Современные оптико-электронные сортировщики и анализаторы зерновой массы выпускаются с разными алгоритмами, параметрами и режимами работы, но для всех фотосепараторов присущи общие параметры, характеризующий общий принцип работы таких установок [7, 23].

Если зерно соответствует заданным стандартам качества, то оно беспрепятственно продолжает двигаться дальше и попадает в приемный бункер кондиционного зерна. Если же параметры сортируемого зерна отклоняются от нормальных установленных значений, то аналитический блок передает сигнал исполнительной системе, которая включает компрессор и пневмоэжектор, в результате чего потоком воздуха зерно перебрасывается в бункер для отходов [19].

За один этап сортировки, как правило, зерно очищается не полностью, поэтому сортировка в фотосепараторе проходит в два цикла: первичный и вторичный. Во время вторичного цикла происходит как бы «доработка» зерна. Более подробно процесс сортировки можно увидеть на рисунке 1.4.

Оптико-электронные сепараторы сельскохозяйственного назначения обладают значительной многофункциональностью и универсальностью. Именно поэтому они способны разделять на группы семена различных культур: пшеница, рис, кунжут, кукуруза, рожь, и т. д. При работе зерноперерабатывающих и других компаний агропромышленного комплекса возникает потребность использования качественного семенного материала, соответствующего всем нормам ГОСТ и дающего высокий урожай. Именно поэтому его сортировка и очистка являются важными проблемами, которые необходимо решать в краткие сроки как перед посевом, так и после сбора урожая.

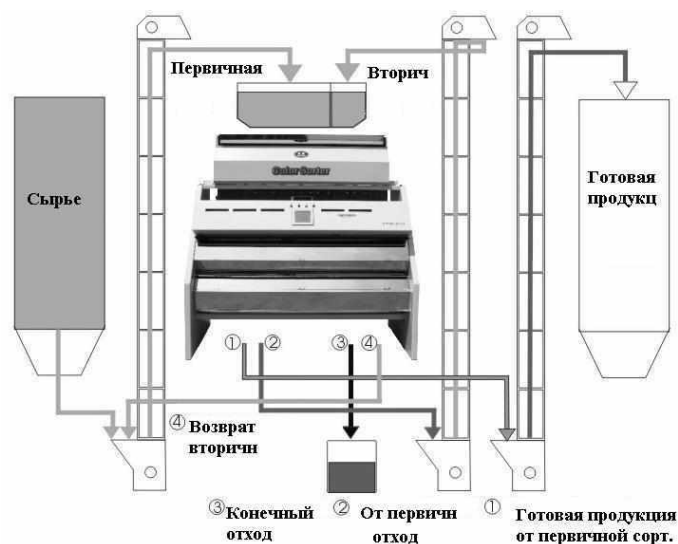


Рисунок 1.4. Технологическая схема сортировки зерна опико-электронным способом [10]

Использование опико-электронных сепараторов для анализа и контроля семенной массы позволяет решить вышеописанные проблемы, повышают эффективность и скорость сортировки зерна, представляя большую выгоду для всех отраслей сельского хозяйства, связанных с растениеводством.

Благодаря вышеописанным особенностям фотосепараторы широко применяются на агропромышленных предприятиях пищевой и перерабатывающей промышленности. Высокий качественный отбор сыпучего сырья позволяют использовать фотосепараторы в таких областях и сферах агропромышленного комплекса, где обычные воздушно-механические, магнитные барабанные сортировщики не способны к эффективному функционированию из-за малого коэффициента отбора некачественных семян.

На сегодняшний день опико-электронные сепараторы семенной массы способны осуществлять разделение зерна на группы по двум основным группам признаков. Первая группа – геометрические признаки, к которым относятся размер, форма, площадь объекта, наличие сколов, трещин, других дефектов и т.д. Вторая группа – цветовые спектральные признаки. К ним относятся цвет, оттенки, яркость продукта и др [12].

Оптико-электронная сортировка хорошо подходит для пищевой промышленности, потому что большинство дефектов (фитопатологии, нарушение целостности оболочки) и отношение к определенной культуре может быть идентифицировано по внешнему виду. Кроме того, оптические камеры и пневмоэжекторы являются бесконтактными (т.е. гигиенические) и обеспечивают высокую производительность и эффективность разделения зерновой массы [15].

Фотосепараторы состоят из четырех основных системных элементов: подача продукта в рабочую зону, получение изображения, аналитическая обработка графического изображения, удаление примесей исполнительным механизмом.

Проведя анализ представленных отечественных и зарубежных оптико-электронных систем для идентификации и разделения семян различных сельскохозяйственных культур мной была сформирована классификация фотосепараторов в виде таблицы 1.1.

Рассмотрим наиболее распространенные фотосепараторы, применяемые на зерноочистительных предприятиях. К таковым можно отнести оптико-электронные сортировщики таких фирм-производителей, как Csort, Сортекс, Воронежсельмаш, Taiho и другие. Для проведения анализа характеристик используемых фотосепараторов возьмём 4 модели: Воронежсельмаш Ф.10.1; Csort ZORKIY 1; Taiho 6 SXZ-189H; Сортекс Фокус Z, которые представлены на рисунке 1.5.

Завод «Воронежсельмаш» выпускал отечественные фотосепараторы серии Ф (Ф5.1, Ф10.1, Ф15.1 и Ф20.1), предназначенные для сортировки различной сельскохозяйственной продукции (от семечек подсолнечника до орехов и другого снека). Технические характеристики фотосепараторов данной серии приведены в приложении 3. Установки данной серии различаются производительностью. Рассмотрим данную серию фотосепараторов на примере установки Воронежсельмаш Ф.10.1.

В данном фотосепараторе применяются быстродействующие эжекторы МАС, минимальное время открытия которых 1 мс. Ресурс эжекторов составляет 6 млрд. циклов. Видеокамеры с разрешением 2048 пикселей и частотой съёмки до 15000 кадров в секунду способны распознать до 16000 оттенков. Камеры могут распознать на объектах дефекты размером от 0,2 мм [11, 22].

Таблица 1.1. Классификация современных оптико-электронных сортировщиков зерна

№	Признак классификации (системный элемент)	Виды фотосепараторов	Современные технические модели
1.	Подача продукта в рабочую зону	Вибрационные	Сортекс Фокус-Z1
2.		Ленточные	Сапсан I6
3.	Источник освещения в рабочей камере	Люминесцентные	NANTA ACE
4.		Металлогалогенные	Csort ZORKIY
5.		Светодиодные	Evolution Satake
6.		Лазерные	Сапсан I6
7.		Рентгеновские	Picasen Alpha
8.	Компоновка источников освещения	Односторонняя	NANTA ACE
9.		Двухсторонняя	Сапсан I6
10.		Многосторонняя	Csort ZORKIY
11.	Датчики	Монохромные	Сапсан M1
12.		Бихромные	Сапсан ЦЗ
13.		Полноцветные	Воронежсельмаш СПО-50
14.		Инфракрасные	Сортекс ФОКУС Z3
15.		Ультрафиолетовые	UNISORT 6SXZ-60CI
16.		Рентгеновские	SS-X8084SSF-M2
17.	Аналитическая обработка графического изображения	С цифровым сигнальным процессором	TOMRA Helius 2400
18.		С центральным процессором (аналитическим блоком)	Воронежсельмаш СПО-50
19.	Система удаления примесей	Пневматическая	Воронежсельмаш Ф.10.1
20.		Электромеханическая	ЭЛКРОН ЭСС



а



б



в



г

а – фотосепаратор серии Φ.10.1, б – одномодульный фотосепаратор Csort ZORKIY 1, в – трехлотковый фотосепаратор Taiho 6 SXZ-189 H, г – модульный фотосепаратор серии «Фокус Z»

Рисунок 1.5. Внешний вид наиболее распространенных типов фотосепараторов [22]

Фотосепараторы компании Csort широко используются не только на зерноочистительных предприятиях и элеваторах для сортировки зерновой сыпучей продукции, но и для сортировки орехов и другой снековой продукции, а также на мукомольных предприятиях для подготовки зерна к помолу. Модельный ряд серии ZORKIY представлена установками от 1 до 3 секций. Рассмотрим данную серию фотосепараторов на примере одномодульной установки Csort ZORKIY 1, которая представлена на рисунке 1.5. Технические характеристики фотосепараторов данной серии приведены в приложении 4.

Данный фотосепаратор отличается многообразием комплектации фотокамер: инфракрасные, цветные, бинарные. Это позволяет легко перенастраивать установку в зависимости от задач сортировки. Установленная 2048-пиксельная CCD-камера японского производства с разрешением 0,13 мм позволяет захватывать изображение с высоким качеством и детализацией, что обеспечивает качественный анализ продукта и повышает точность сортировки [22].

В установке применяется самообучаемая система на основе нейронных сетей. Данная интеллектуальная самонастраиваемая система контроля качества сортировки обрабатывает видеосигнал потока продукта в реальном времени, что служит гарантией стабильной очистки на протяжении всего времени работы аппарата.

Одним из наиболее производительных и эффективных RGB-полноцветных сортировщиков на рынке являются фотоэлектронные сепараторы серии Taiho 6 SXZ (Рис. 1.5). Технические характеристики фотосепараторов данной серии приведены в приложении 5. Они оснащены многоцветными высокоточными RGB камерами с разрешением 2048 пикселей и LED освещением, которые позволяют различать дефекты размером от 0,04 мм² [22].

Фотоэлектронные сепараторы серии Taiho 6 SXZ для достижения высокой точности сортировки используют различия свойств сортируемого материала, что отражается в виде специальных алгоритмов распознавания изображений, включающих идентификацию объекта по нескольким параметрам, таким как форма, цвет, линейная скорость объекта, геометрические размеры. Данные фотосепараторы сортируют продукты по двум ключевым группам признаков. Первая – геометрические. Это размер, форма, площадь объекта, наличие сколов, трещин, других дефектов и т.д. Вторая группа – цветовые признаки, то есть, это сам цвет, оттенки, яркость продукта и др. [25, 26].

Отечественная фирма Сортекс в настоящее время выпускает фотосепараторы серий «Фокус Z», «Фокус J» и другие (Рис. 1.5). Фотосепараторы серии «Фокус Z» являются модульными и позволяют устанавливать до 10 дополнительных секций, обеспечивая при этом производительность 0,1... 50 т/ч. В данных сепараторах установлены фотокамеры с разрешением 5400 пикселей, которые способны распознать до 2 млн. оттенков. Данный фотосепаратор отличается многообразием комплектации фотокамер: монохромные, бихромные, цветные RGB, инфракрасные NIR [31].

Таким образом, становится ясно, что фотосепаратор – это высокотехнологичное оборудование нового поколения, в котором применяются новейшие разработки в области оптики, электроники и программирования. Данные машины позволяют достигать очень высоких результатов очистки (до 99% чистоты). При этом фотосепараторы не имеют рабочих органов, травмирующих обрабатываемый материал. Поэтому целесообразность применения фотосепаратора при сортировке семян пшеницы и других сельскохозяйственных культур не вызывает сомнений. Однако в фотосепараторе остаются нерешенные моменты, определяющие производительность установки и точность разделения зерновой массы на группы [11, 38].

Из проведенного анализа было установлено, что при использовании одинаковых элементов фотосепаратора точность разделения семенной массы на группы может изменяться в зависимости от выбора одного или нескольких селективных критериев сортировки, а также в зависимости от использования различных осветительных установок для создания фона анализируемого продукта. Также стоит отметить, что один и тот же алгоритм распознавания не одинаково эффективен и точен при выборе разных селективных признаков.

При конструировании, построении и настройке оптико-электронных сортировщиков сельскохозяйственной продукции необходимо учитывать особенности работы алгоритма распознавания сортируемого продукта. При

выборе нескольких селективных критериев, таких, как цвет, форма, геометрические параметры семени, повышается точность разделения зерна на группы, однако производительность установки при этом снижается. При выборе одного из вышеперечисленных параметров, скорость сортировки возрастает, однако снижается точность сортировки. Решением данных противоречий для достижения высокой точности разделения семенной массы может стать рационально выбранное сочетание условий освещения и разработанного многокритериального алгоритма распознавания анализируемых объектов с использованием нейронных сетей.

1.3 Анализ существующих оптико-электронных методов анализа и сортировки сельскохозяйственной продукции

В настоящее время сортировка сельскохозяйственной продукции посредством оптико-электронного анализа исследуется как зарубежными, так и отечественными учеными. Исследования выражаются как в виде статей в ведущих отечественных и зарубежных журналах, так и в виде диссертационных работ. Для построения математической модели физических параметров, определяющих посевные качества и селективные признаки семенного материала, а также для определения и обоснования рациональных параметров и режимов работы оптико-электронных устройств, обеспечивающих высокую точность сортировки семенного материала с учетом требований, предъявляемых селекционерами к качеству зерновой массы, рассмотрим алгоритмы и методики выявления дефектов сельскохозяйственной продукции оптико-электронным методом. Для этого рассмотрим диссертационные работы Барышева Д.Д., Руденко О.В., Белякова М.В., Петрякова А.Н., Барышевой Н.Н., Абделхамид М.А.А.

Так, в диссертации Руденко О.В. «Высокоточное нейросетевое распознавание в системах технического зрения» приведен алгоритм определения селективных признаков различных объектов исследования

посредством нейронных сетей. Окраска объекта определяется посредством матрицы пикселей. Каждый пиксель изображения, согласно предложенному алгоритму, должен быть разложен на цветовые компоненты R (красный), G (зелёный), B (синий) в пространстве RGB цветовой модели.

Для получения селективных признаков исследуемого объекта проводится дискретное вейвлет (wavelet) - преобразование, представляющее собой свёртку исходного сигнала с низкочастотными и высокочастотными фильтрами, порождающими грубую аппроксимацию и детализирующие коэффициенты. Получение коэффициентов вейвлет – преобразования наиболее эффективно с помощью вейвлетов Хаара [62].

Предложенный алгоритм цветового анализа изображения объекта исследования выделяется своей универсальностью и может найти применение в различных областях сельского хозяйства. Однако он имеет недостаток – малый спектр выделяемых селективных признаков анализируемого объекта, которые требуются при селекционной работе. Связано это с тем, что при использовании дискретного вейвлет-преобразования исследуется общая цветовая окраска объекта исследования, что позволяет разделять семена сельскохозяйственных культур на группы по признаку принадлежности к той или иной культуре, а также по наличию повреждений, однако не позволяет идентифицировать фитопатологии.

В диссертационном исследовании Петрякова А. Н. «Разработка автоматизированной системы для контроля органолептических показателей качества гранулированных пищевых продуктов с использованием технологий компьютерного зрения» рассмотрен алгоритм оптико-электронной оценки показателей качества пищевых продуктов с использованием технологий компьютерного зрения.

В целях определения селективных признаков на изображении использовался метод на основе оператора Собеля, который представляет собой итеративный анализ восьми близлежащих пикселей от пикселя с координатами i, j . Для определения области исследования были взяты

следующие координаты восьми близлежащих пикселей: $i+1, j$; $i+1, j+1$; $i, j+1$; $i-1, j+1$; $i-1, j$; $i-1, j-1$; $i, j-1$; $i+1, j-1$. Для нахождения цвета выбранного пикселя использовалось попиксельное сканирование, в процессе которого цвет пикселя контурного изображения проверялось на эквивалентность с черным и белым цветом [53].

Предложенный алгоритм оптико-электронного анализа сельскохозяйственной продукции выделяется своей точностью в определении формы размеров анализируемого объекта. Однако данный алгоритм не лишен недостатков. Так, при высокой точности определения геометрических параметров анализируемого объекта, цветовой анализ с помощью перебора цветов пикселя является сложным и занимает избыточное количество времени для оценки селективных признаков объекта. Поэтому данный алгоритм в исходном виде плохо подходит для анализа объектов малых размеров, но он может быть частично использован для определения геометрических размеров семян пшеницы.

Один из наиболее точных методов выделения селективных признаков анализируемого объекта по изображению приведен в диссертации Барышева Д. Д. «Программно-аппаратный комплекс оценки качества фракционирования семян пшеницы по биоэлектрическим сигналам» рассмотрена методика классификации и прогнозирования качества семян пшеницы. Из проведенного исследования было установлено, что алгоритм формирования базы данных семян включает следующие этапы: определение размерности обучающей выборки экспериментальным путем; выбор информативных селективных критериев; анализ информативных параметров, исключение неинформативных составляющих; обучение системы выбранным методом; оценка эффективности путем измерения показателей точности, построением матрицы неточностей, перекрестной проверкой качества обучения.

Процесс выбора необходимого метода машинного обучения для решения задачи классификации сводится к экспериментальному

сравнительному анализу с учетом математических и алгоритмических нюансов области практического применения. Для реализации системы выбраны следующие методы - дерево решений, метод опорных векторов, метод ближайших соседей [5].

Наиболее актуальная методика распознавания и сортировки сельскохозяйственной продукции опико-электронным методом приведена в диссертации Беякова М.В. «Люминесцентный метод и опико-электронные устройства экспресс-диагностики качества семян агрокультур». Разработанная автором методика измерений включала в себя: отбор образцов семян; измерение спектра возбуждения при синхронном сканировании; анализ синхронного спектра; измерение спектра люминесценции и его анализ; измерение спектра возбуждения и его анализ; математические операции с графиками. Данные, полученные в вышеописанной диссертации, могут быть использованы и при выборе рациональных параметров и режимов работы опико-электронной установки для сортировки семян пшеницы, потому что длина волны, определяемая люминесцентным методом непосредственно связана с цветом анализируемого объекта [8].

В диссертации Барышевой Н.Н. «Методология диагностирования посевного качества семян пшеницы для повышения урожайности» приведена методика определения электрофизических свойств зерен пшеницы для диагностирования качества посевного материала. Данные, приведенные в вышеописанной диссертации, могут быть использованы при составлении математической модели физических параметров семян, определяющих посевные качества и селективные признаки семенного материала при селекционной работе.

В исследовании отмечается, что физиологическое состояние определяется состоянием оболочки (ионной проводимостью, наличием травм), а также содержанием и количеством накопленных минеральных веществ, что подтверждает возможность использования цвета оболочки семени в качестве диагностического признака.

Таким образом, для составления математической модели физических параметров семян, а также обоснования рациональных параметров и режимов работы оптико-электронной установки для сортировки семенного материала, необходимо использование цветовых и геометрических характеристик анализируемого объекта, а также применение нейронных сетей, обеспечивающих высокую точность и обучаемость установки [6, 8].

В диссертационной работе Абделхамид М.А.А. «Оптический способ и устройство для контроля степени зрелости томатов» приведены модели, которые могут быть использованы для анализа физиологических состояний и контроля качества оптическим способом, степени зрелости плодов различных сельскохозяйственных культур.

В данной работе было предложено использование устройства, определяющего интенсивность флуоресценции хлорофилла в томатах посредством анализа светового потока анализируемого объекта. Сгенерированный от плода световой поток, поступает через на фотодиод, где формируется электрический сигнал. Сформированный в нем электрический сигнал через усилитель поступает в микроконтроллер и компьютер, в котором согласно разработанной программе происходит обработка сигнала светового потока с учётом уровней амплитуд и спектрального его состава, излучённого и сгенерированного от плода томата световых потоков [1, 5].

Таким образом представленные в настоящее время оптико-электронные методы анализа и сортировки семян сельскохозяйственных культур несмотря на все свои преимущества имеют предельные значения точности в связи с разнообразием сортируемых культур и сортов одной и той же культуры, но это тем не менее не сказывается на качестве и эффективности выполнения разделения семян на группы [8, 53]. Таким образом, при разработке и изготовлении оптико-электронных устройств для сортировки семенного материала, большое внимание стоит уделять базе данных семян, которая загружается в программное обеспечение установки.

Осмотр и анализ в рабочей зоне оптико-электронной установки

происходит для каждого семени в отдельности, что позволяет определить мельчайшие дефекты и изъяны зерновки и значительно повысить качество сортируемого продукта. Поэтому для достижения высокой точности разделения семенного материала на группы и реализации поштучной подачи семян важно правильно рассчитать и выбрать режим движения семян и обеспечить их подачу в один равномерный слой с одинаковой скоростью движения по каналам. Согласно законам механики, более легкие семена будут поступать в рабочую зону анализа с маленькой скоростью, а соответственно, более тяжелые зерна будут падать быстрее, с большей скоростью. Это оказывает непосредственное влияние на производительность установки, поэтому при настройке программного обеспечения под сортировку различных культур нужно учитывать эти закономерности.

Было установлено, что очень важным обстоятельством, определяющим производительность оптико-электронного сортировщика, является показатель засоренности изначального сортируемого продукта. Экспериментально было установлено, что чем больше примесных сорных семян присутствует в изначальном продукте, тем меньше производительность фотосепаратора. Связано это с тем, что установке требуется больше времени для анализа примесных семян и других объектов, сравнения их параметров с заданными по требованиям государственных стандартов и удаления из установки. Поскольку исполнительный механизм фотосепаратора работает по методу удаления отходов воздушным потоком от компрессора, то необходимо принять во внимание механические свойства и характеристики основного исполнительного элемента установки – пневмоэжекторов [62].

На сегодняшний день для оптико-электронного метода сепарации зерновой массы широко используется алгоритм, работающий по принципу разделения объектов на группы на основе предельных значений RGB-параметров монохромного изображения [5, 6, 53].

Анализ полученных с фотокамер изображений проходит следующим образом. Объекты (семена) отделяются от фона, на следующем этапе из

изображения удаляют самые темные и самые яркие точки, потому что они считаются дефектами зерновки. Оставшиеся пиксели изображения интегрируются в цветовые участки и вычисляются средние значения цветовых параметров RGB_{ср}. Разделение семенной массы на фракции осуществляется на основе выбора пределов, устанавливаемых специалистом при начальной настройке установки. В связи с этим наиболее эффективным является использование цветового анализа семян, основанного на выборе цветовой модели, выделении участков цветности и вычислении процентного соотношения площадей этих зон.

Таким образом, увеличение числа селективных критериев, на основании которых проводится анализ и сортировка семенного материала, возможно только в случае наличия соответствующих исследований цветовых параметров семян пшеницы. Из этого можно сделать вывод, что выбрать рациональные параметры и режимы работы оптико-электронного устройства для сортировки семян, которые позволят получить семенной материал с требуемыми для селекционеров показателями качества, возможно после проведения соответствующих исследований по определению параметров семян и составления базы данных, которая ляжет в основе алгоритма работы установки. Для достижения высокой точности сортировки семенного материала и для расширения спектра селективных критериев при селекционной работе может стать рационально выбранное сочетание условий освещения, оптических элементов и алгоритма распознавания анализируемых объектов с использованием нейронных сетей.

1.4. Выводы и задачи исследований

1. Растениеводство является важной отраслью сельского хозяйства. В достижении высоких показателей урожайности большую роль играет селекционная работа, которая требует использования семенного материала с наилучшими показателями качества. Большинство современных

сортировщиков сельскохозяйственной продукции сконструированы с учетом требований к качеству зерновой продукции согласно государственным стандартам. Однако в данных стандартах не указываются требования к семенному материалу, который используется в селекционных центрах. Серьезной проблемой растениеводства является борьба с фитопатологиями. Для ее решения очень важно время выявления болезней. Именно в этом случае целесообразно использование оптико-электронных методов анализа и сортировки сельскохозяйственной продукции, потому что основным параметром оценки качества зерна при таком методе является цвет, а он является определяющим параметром развития болезни.

2. В сельском хозяйстве, в частности в мукомольной и зерноперерабатывающей промышленности, зачастую используются оптико-электронные установки для сортировки семян (фотосепараторы). Точность в разделении зерновки может достигать 95% в зависимости от типа сортируемой культуры и изначальной засоренности зерновой массы. Для определения рациональных параметров и режимов работы оптико-электронных устройств для сортировки семян различных сельскохозяйственных культур был проведен обзор и классификация современных фотосепараторов.

3. При конструировании, построении и настройке оптико-электронных сортировщиков семян пшеницы при селекционной работе необходимо учитывать особенности работы алгоритма распознавания сортируемого продукта. 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.

При выборе нескольких селективных критериев, таких, как цвет, форма, геометрические параметры семени, повышается точность разделения зерна на

группы, однако производительность установки при этом снижается. При выборе одного из вышеперечисленных параметров, скорость сортировки возрастает, однако снижается точность сортировки. Решением данных противоречий для достижения высокой точности разделения семенной массы может стать рационально выбранное сочетание условий освещения, оптических элементов и алгоритма распознавания анализируемых объектов с использованием нейронных сетей.

Проблема состоит в следующем. В настоящее время существует большое количество алгоритмов, методов и технических устройств для сортировки семян пшеницы по определенным физическим параметрам, которые определяют селективные критерии и позволяют получить зерновую массу, удовлетворяющую требованиям к качеству посевного материала. Однако большинство существующих оптико-электронных установок обладают недостаточно широким спектром селективных критериев и имеют ограниченную точность разделения семенного материала для селекционного отбора.

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

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.

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.

2. РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СЕЛКТИВНЫХ КРИТЕРИЕВ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО УСТРОЙСТВА ПРИ СОРТИРОВКЕ СЕМЕННОГО МАТЕРИАЛА

2.1 Выбор селективных критериев и методики их определения при сортировке семян пшеницы в селекционной работе

В результате анализа литературных источников и патентов было установлено, что для всех оптико-электронных систем анализа и разделения объектов характерен ряд условий, которые оказывают влияние на эффективность и точность процесса разделения семенного материала по цвету [4]. Мной была разработана обобщенная схема факторов, которые оказывают серьезное влияние на эффективность и точность цветового анализа семенного материала, приведенная на рисунке 2.1.

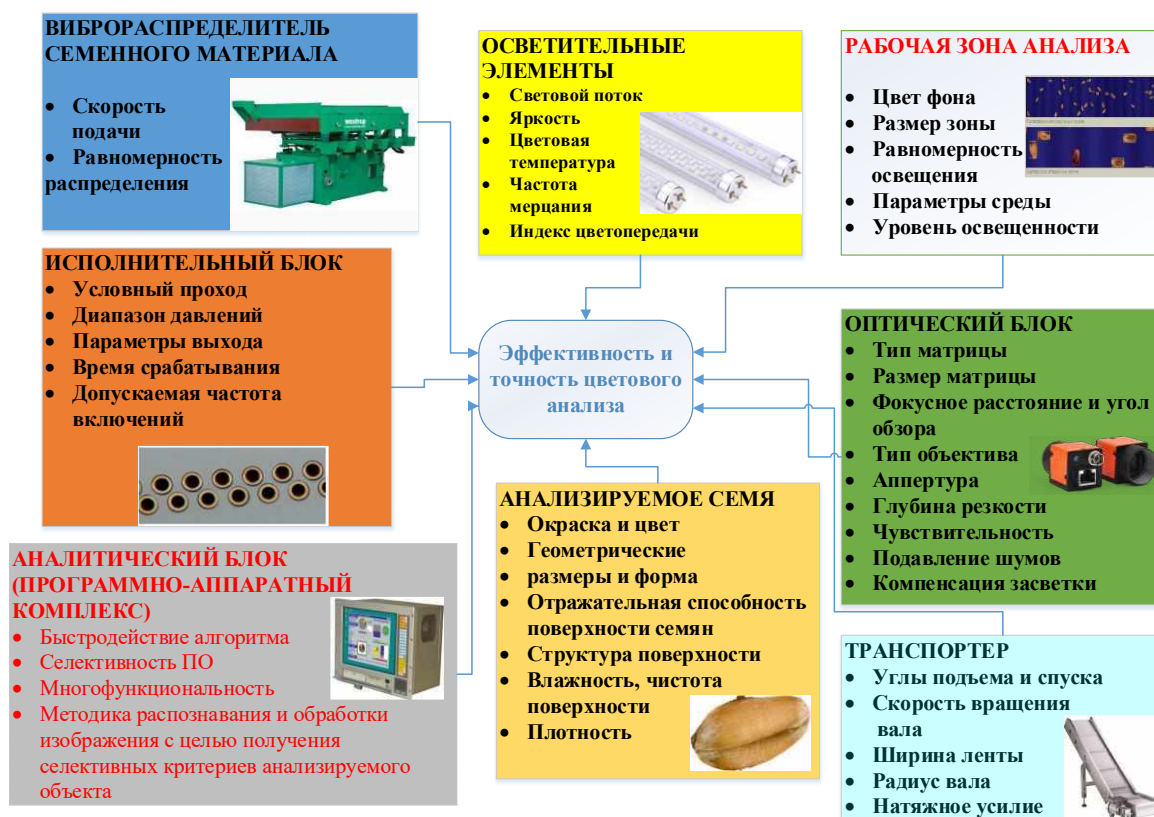


Рисунок 2.1. Обобщенная схема факторов, влияющих на точность и эффективность цветового анализа семян оптико-электронным устройством

Для определения рациональных параметров и режимов работы оптико-электронной установки необходимо составить математическую модель физических параметров семян пшеницы, определяющих качественные показатели семенного материала, которые были рассмотрены в предыдущей главе настоящей диссертации. Исходя из приведенной схемы рассмотрим математические методы и алгоритмы расчета и прогнозирования приведенных факторов. Многие факторы исходят из базовых законов оптики и оптического моделирования, поэтому нет необходимости в их описании [6]. Раскроем основные факторы, влияющие на эффективность процесса сортировки семян сельскохозяйственных культур: окраска и цвет, отражательная и пропускательная способность семян, геометрические формы и размер, параметры матрицы и объектива оптического блока установки, а также параметры распознавания семян сельскохозяйственных культур по различным селективным критериям.

Окраска и цвет. Цвет согласно волновой теории распространения света определяется такими характеристиками, как длина волны λ и интенсивностью потока отраженных световых лучей. Интенсивность потока отраженных световых лучей или мощность светового потока зависит от коэффициента отражения света от поверхности зерна $\tau(\lambda)$, который по определению равен отношению отраженного потока $\Phi_{\text{отр}}(\lambda)$ к падающему $\Phi_0(\lambda)$ на поверхность объекта [4, 52].

$$\tau(\lambda) = \frac{\Phi_{\text{отр}}(\lambda)}{\Phi_0(\lambda)}, \quad (2.1)$$

где $\tau(\lambda)$ – коэффициент отражения света; $\Phi_{\text{отр}}(\lambda)$ – мощность отраженного светового потока при данной длине волны, Вт; $\Phi_0(\lambda)$ – мощность падающего светового потока при данной длине волны, Вт.

Необходимо учесть, что семена являются неоднородным объектом, могут содержать элементы защитной оболочки, могут быть разной степени зрелости, поэтому окраска семян может быть разнообразной. Также стоит учесть, что цвет и окраска семян зависят от сорта и вида сортируемой

культуры. Само понятие «окраска» необходимо отличать от понятия «цвет», потому что он обладает более специализированным понятием по отношению к технологии цветового анализа и применяется к объектам, цвет которых вариативен в зависимости от различных параметров. Так для пшеницы, в зависимости от сорта и условий произрастания и хранения существует множество типов окраски. Но наиболее часто выделяют 2 типа окраски, определяемые принадлежностью к тому или иному сорту: краснозерновая и белозерновая пшеница [45, 13].

Семена белозерновой пшеницы имеют светло-кремовую окраску с более твердыми и стекловидными зернами янтарного цвета. Белозерная пшеница в России встречается редко в связи, потому что ее зерновая масса состоит из полностью стекловидных зерен, которым невозможно найти применение в связи с их свойствами, как исключительно для выработки макаронной муки-крупки. Несмотря на это в связи с требованиями по изготовлению макаронных изделий на изготовление муки-крупки для макарон требуется пшеница 1-го и 2-го классов, поэтому к белозерной пшенице предъявляются повышенные требования, но при этом как правило ее цена значительно выше, чем у краснозерновой.

Семена краснозерновой пшеницы имеют буро-красную окраску с общей стекловидностью не более 75%. Также в зависимости от сорта, которых насчитывается более 100, возможно проявление желтой окраски. В зависимости от условий произрастания, климатических условий в общей массе зерна возможно присутствие желтобоких, «золотых», потемневших и бесцветных зерен. Краснозерная пшеница в России широко используется, потому что ее возможно использовать во всех сферах зерноперерабатывающей промышленности [49, 99].

В результате анализа литературы было установлено, что семена пшеницы в целом обладают постоянным установившимся цветом, который можно использовать в качестве селективного признака при сортировке зерна. Для того, чтобы получить оптимальные параметры и режимы работы оптико-

электронной установки для анализа и разделения семян пшеницы, необходимо обязательно учитывать сорт сортируемой культуры при разработке алгоритма работы.

Согласно ГОСТ 12043-88 существует метод определения и отбора сортов пшеницы лабораторным методом. Метод основан на специфической окраске колеоптиля антоцианом. По окраске колеоптиля антоцианом все сорта пшеницы делят на три группы: колеоптиль окрашен, колеоптиль без окраски антоцианом, невыравненные по окраске колеоптиля (характерно для местных сортов). У сортов, выравненных по окраске колеоптиля, можно определить сортовую чистоту, у невыравненных - только подлинность и использовать этот признак как дополнительный. Такой метод требует большой затраты ресурсов и времени, что не является эффективным. Именно в этом случае рационально применение оптико-электронных методов анализа семенного материала о заданным цветовым селективным признакам.

В оптико-электронной установке для анализа и сортировки семян также возможно реализовать методику разделения семян пшеницы по признаку белизны. В основе метода лежит определение коэффициента диффузного отражения светового потока ρ от поверхности семян с использованием классического расчета интегрирующей полусферы. Показатель «белизна» является важной характеристикой оптических свойств объекта (зерна), который позволяет оценить его качество. Коэффициент диффузного отражения выражается в %, измеряется, как отношение отраженного и падающего потоков света при доминантной длине волны (540 ± 10 нм) в диапазоне длин волн от 510 до 580 нм [28, 100].

Согласно данной методики необходимо в алгоритм работы оптико-электронной установки добавить специализированную единицу измерения белизны, которая определяется равномерным деление диапазона измерений коэффициента отражения светового потока от 67% до 100% на 100 делений, соответствующих 100 условным единицам, откуда получаем, что 1 условная единица измерения белизны равна 0,33% коэффициента отражения. С учетом

формулы 2.1, получаем выражение коэффициента диффузного отражения светового потока [4]:

$$\rho(\lambda) = 0,0033 \times \frac{\Phi_{\text{отр}}(\lambda)}{\Phi_0(\lambda)}, \quad (2.2)$$

где $\Phi_{\text{отр}}(\lambda)$ – мощность отраженного светового потока при данной длине волны, Вт; $\Phi_0(\lambda)$ – мощность падающего светового потока при данной длине волны, Вт.

В результате проведенных экспериментальных исследований были получены следующие границы варьирования коэффициента диффузного отражения светового потока ρ : 5,8-14,3 условных единиц для краснозерной пшеницы и 14,5-28,4 условных единиц для белозерной. Анализируя полученные данные, можно установить для белозерного типа пшеницы значения коэффициента диффузного отражения более 15,0 условных единиц и для краснозерного типа менее 15,0 условных единиц [14, 28].

При сортировке семян оптико-электронным методом могут возникнуть случаи, когда определяемый цвет семенного материала может сильно изменяться при перемене условий анализа в рабочей зоне установки.

Примером этого явления может служить эффект метамерии, который связан со свойством машинного зрения одинаково идентифицировать и определять объекты с различной окраской в зависимости от условий освещения зоны анализа. В оптико-электронных системах машинного зрения данный эффект метамерии не всегда проявляется схожим образом, как у человека.

Еще одним примером эффекта изменения цвета на изображениях при цветовом анализе является плеохроизм – способность семян различных сельскохозяйственных культур менять свою окраску в зависимости от угла исследования падающих, отраженных и проходящих через них световых лучей.

Вышеописанные эффекты не применимы либо слишком сложны для использования в качестве базового селективного признака метода оптико-

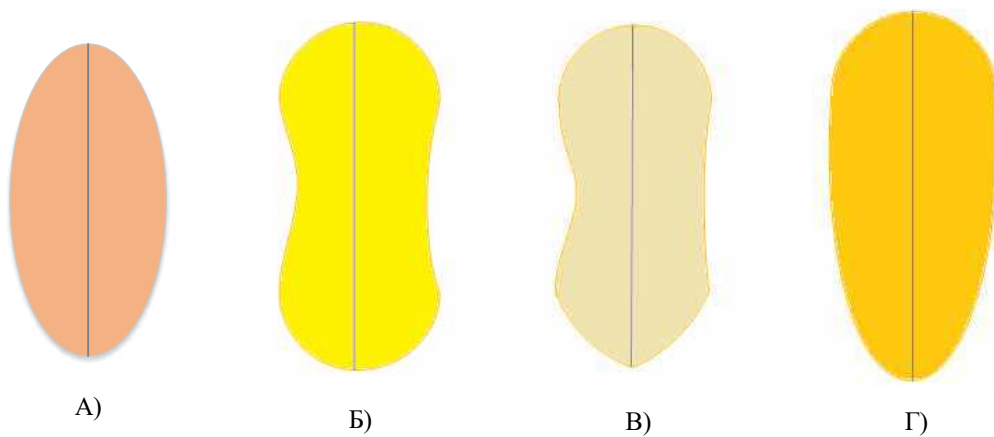
электронной сепарации семян. Но с учетом оказываемого влияния на эффективность процесса разделения семенного материала на группы, они должны учитываться при проектировании и разработке алгоритмов работы и программного обеспечения опико-электронных установок для анализа и сортировки семян.

Геометрические размеры и форма. Изучение формы семян и их линейных геометрических размеров позволяет не только определять сорта и вид культуры, но и применять данные параметры для оптимальной работы опико-электронных систем анализа и сортировки семян.

Поэтому необходимо форму сортируемых объектов (семян) свести к определенным для каждой культуры единым типам, которые могут позволить произвести правильную настройку и отладку опико-электронного сортировального оборудования. Для каждой культуры существует огромное множество форм, в том числе с такими, которые невозможно описать геометрическими фигурами. Рассмотрим наиболее важную для российской экономики и АПК культуру – пшеницу. В настоящее время среди большого множества сортов пшеницы выделяют четыре основных типа форм семян (рис. 2.2).

На сегодняшний день существует множество эффективных методов анализа и расчета контуров объектов по изображениям [91]. Однако стоит учесть, что их рационально можно применять только для установок и программ, в которых происходит анализ сложных контуров и объектов.

В рассматриваемых нами задачах анализа семенного материала контуры анализируемых объектов являются выпуклыми и близки по форме к правильным геометрическим фигурам, соответственно использование таких методов является избыточным и нерациональным вследствие большого объема вычислений и больших затрат времени. Однако, если выпуклость контуров полученных изображений нарушается, необходимо произвести их восстановление с использованием расширенных алгоритмов и методов идентификации и анализа объектов.



А–чечевицеобразная форма: ширина зерна гораздо меньше его длины, геометрическая форма близка к эллипсу; Б– эллиптическая форма: ширина зерна гораздо меньше его длины, присутствуют малая и большая оси, малая ось «обрезана» с обеих сторон; В– эллиптическая форма: ширина зерна гораздо меньше его длины, присутствуют малая и большая оси, малая ось «обрезана» с одной стороны; Г– эллиптическая форма: ширина зерна гораздо меньше его длины, присутствуют малая и большая оси, не симметрична относительно малой оси.

Рисунок 2.2. Формы семян пшеницы

Математическим выражением для построения выпуклого контура в полярной системе координат (φ, r) (см. рис. 2.3) является функция $r = f(\varphi)$, которая называется сигнатурой контура [15]. Сигнатуру для построения анализируемого в оптико-электронной установке объекта можно исследовать с помощью базовых методов математического анализа.

Для объекта эллиптической формы исследование выражения для $r = f(\varphi)$ получается на основе следующих канонических уравнений геометрии [39]:

$$\frac{(x-x_c)^2}{(r_1+r_c \times \cos\varphi)^2} + \frac{(y-y_c)^2}{(r_2+r_c \times \sin\varphi)^2} = 1 \quad (2.3) \text{ – уравнение эллипса, где}$$

$$x = r \times \cos\varphi + x_0, \quad y = r \times \sin\varphi + y_0 \quad (2.4)$$

Обозначим приращение координат по осям x и y :

$$\Delta x = x_c - x_0, \quad \Delta y = y_c - y_0 \quad (2.5)$$

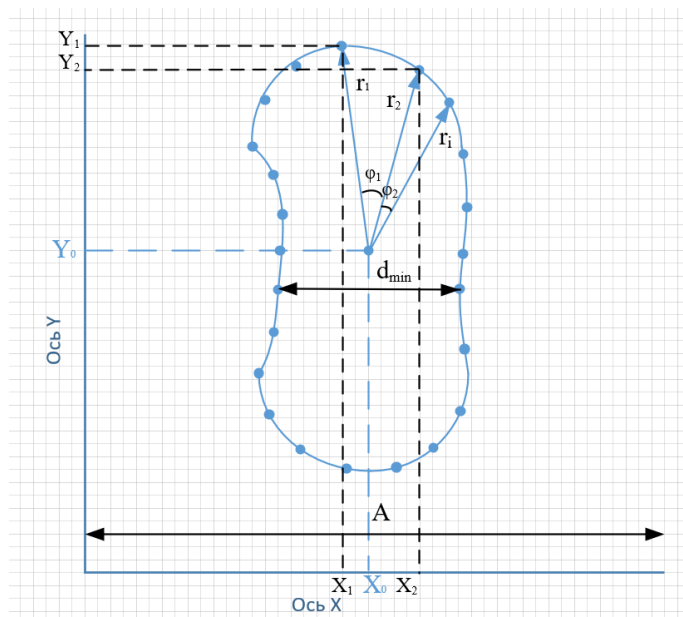


Рисунок 2.3. Геометрическая область построения контура объекта (зерна) при дифференцировании по радиус-вектору и углу

После проведения стандартных алгебраических и тригонометрических преобразований, получаем следующее выражение:

$$r = (\Delta x \times \cos\varphi + \Delta y \times \cos\varphi) + \sqrt{(\Delta x \times \cos\varphi + \Delta y \times \cos\varphi)^2 - \Delta x^2 - \Delta y^2 + r_c^2} \quad (2.6)$$

С учетом того, что отношения $\frac{\Delta x}{r_c}$ и $\frac{\Delta y}{r_c}$ являются малыми значениями по отношению к площади анализируемого объекта, то выражение (2.6) принимает вид:

$$r = r_c + (\Delta x \times \cos\varphi + \Delta y \times \cos\varphi) \quad (2.7)$$

Анализируя полученное выражение (2.7), можно сказать, что при условленных параметрах преобразование Фурье расчетной функции $r = f(\varphi)$ мы получим следующие результаты: нулевая гармоника — постоянная составляющая, которая представляет собой большие и малые полуоси объекта в зависимости от центра, а первая гармоника дает корректировку положения центра объекта, а именно: вещественная часть представляет корректировку по оси x , мнимая — по оси y .

При заметных изначальных погрешностях определения положения центра объекта от реального необходимо произвести несколько последовательных итераций расчетов с уточнением положения центра до получения значений, соответствующих оптимальным параметрам анализируемого объекта. Также стоит учесть, что для получения оптимальных результатов в каждую итерацию целесообразно будет включать повторное построение контура анализируемого объекта, потому что эффективность определения контура и в частности восстановления нарушения целостности линий контура напрямую зависит от положения центра заданной системы координат [19, 98].

Также стоит отметить, что приведенная методика поиска и идентификации объектов, описанная в работе выше, представляет достаточные для дальнейших этапов сортировки точные координаты положения центров объектов, и поэтому, согласно проведенным экспериментальным исследованиям получения и обработки изображения объекта, для определения необходимых геометрических параметров формы объекта с требуемой погрешностью возможно проведение не более двух итераций.

В ходе анализа существующих методов получения и оценки геометрических форм и размеров объектов было установлено, что, после определения контура объекта, требуемые для выполнения алгоритма работы установки геометрические параметры можно определить проще, без проведения дополнительных действий, чем при вышеописанном методе. Так, для получения геометрических размеров анализируемого объекта возможно его разделение на отдельные площадки в форме окружности, для которых определяются центры и диаметры, далее вычисляются площади этих поверхностей и производится их интегрирование и определяется площадь объекта, ограниченного контуром, а центр объекта определяется как центр тяжести этой поверхности. Однако расчет одномерного преобразования Фурье для небольшого количества точек (согласно экспериментальным

исследованиям для семян пшеницы достаточно 24 или 48 точек в зависимости от условий проведения анализа) занимает меньше времени и ресурсов вычислительной техники, чем дифференцирование объекта на бесконечное число участков, определение площади и центра тяжести объекта [20, 33]. Но основной причиной эффективности применения данного метода является то, что преобразование Фурье сигнатуры контура представляет для дальнейших этапов исследования дополнительные возможности анализа и применения полученных результатов расчетов.

Так, при получении изображения в рабочей зоне оптико-электронной установки в поле зрения камеры помимо исследуемых объектов (семян) и шумов, создаваемых при определенных условиях внешней среды, могут попасть сторонние объекты (другие семена, примеси, грязь). При этом могут возникнуть погрешности в определении объекта, когда при заданной комбинации параметров объектива и параметров идентификации определенные участки промежуточных линий координатной системы могут ошибочно определяться как объекты.

Тогда при заданных условиях вышеописанная методика получит ошибочный вытянутый контур не требуемого объекта. Растянется он согласно заданной величине предварительно определенного алгоритмом программы максимального размера. При анализе полученной ошибки можно увидеть, что преобразование Фурье сигнатуры такого контура даст при расчете определенно большую величину второй гармоники. Именно эту особенность метода можно использовать для предотвращения обработки ложных объектов. Аналогичным образом будет происходить определение пересечения штриховых линий координатной сетки как объекта анализа, что приведет к большему значению 4-й гармоники и так далее. Таким образом анализ фурье-спектра сигнатуры контура позволяет осуществлять эффективный и быстрый контроль и идентификацию формы и геометрических параметров анализируемых объектов, а также отбрасывать ложные результаты анализа объектов, случайно попавших в зону анализа.

При анализе аналитическим блоком (программно-аппаратный комплекс) изображения, полученного камерой в рабочей зоне фотосепаратора, важно получить селективные признаки, на основе которых сортируемый семенной материал будет разделен на группы с максимальной точностью. Для достижения этого вначале необходимо определиться с требованиями, предъявляемыми к семенам [27]. Основными требованиями, предъявляемыми к семенам, предназначенными для посева и использованию в пищевой промышленности, являются: сортовая чистота (наличие семян сорных и сопутствующих культур); наличие посторонних примесей (камни, ворох, шелуха); поражение фитопатологиями (фузариоз, головня, септориоз и др.); влажность; размеры зерна, определяющие всхожесть и принадлежность семян к определенному классу.

Для сортировки зерновой массы на группы согласно вышеперечисленным требованиям фотосепараторы производят захват изображения анализируемого объекта и с помощью аналитического блока проводят распознавание семян. Согласно исследованию современных зерноочистительных оптико-электронных установок для сортировки сельскохозяйственной продукции, процесс распознавания семян и выделения селективных признаков проходит либо по бинарному (черно-белое изображение в градациях серого цвета), либо по цветному изображению анализируемого объекта.

Для обнаружения селективных критериев и дефектов анализируемого объекта, изображение необходимо отфильтровать и нормализовать. Процесс распознавания изображения, полученного с фотокамеры оптико-электронного устройства состоит из нескольких этапов [21, 39].

Согласно проведенному аналитическому обзору литературы, большинство современных фотосепараторов преобразуют изображение из цветного в бинарное с градациями серого цвета. Есть несколько причин для выполнения функций обработки изображений в черно-белом формате:

- при использовании цветных изображений программное

обеспечение различных фотосепараторов может по-разному выделять края объекта. Связано это в первую очередь с различными алгоритмами поиска перепадов яркости и цветового тона;

- поиск краев на основе яркости и цветности требует больше вычислений, чем на черно-белом изображении. Это дополнительная работа по разработке более сложных программ и их сопровождении в производственном цикле. При решении прикладных задач дополнительная информация о цвете может не обеспечить должного эффекта;

- обработка фотографии при работе с бинарным изображением с градацией серого цвета проходит по одному каналу, так как исследуется всего лишь одна характеристика пикселя—интенсивность цвета. При работе с цветным изображением процесс распознавания должен проходить в 3-4 канала в зависимости от выбранной цветовой модели;

- на современных программно-аппаратных комплексах (компьютеры) и при параллельном программировании можно выполнять обычную попиксельно обработку изображения высокого разрешения за доли секунды. Однако распознавание объектов, распознавание текста, выделение отдельных областей и секторов на изображении и другие задачи, выполняемые установкой, могут занять гораздо больше времени. Поэтому при обработке нескольких каналов информации цветного изображения происходит либо снижение производительности установки, либо возникают пропуски при обработке изображения и снижается точность разделения зерна на группы согласно заданным селективным критериям.

При работе оптико-электронной установки для сортировки семян изображение, полученное в рабочей зоне анализа, может содержать шумы и иметь неравномерную яркость отдельных пикселей. Обработка таких изображений не может дать точного результата принадлежности объекта к той или иной группе. Первоначальное изображение должно быть отфильтровано, обрезано и нормализовано либо по частоте, либо в пространственной области [34, 35].

В целях повышения качества разделяемой зерновой массы и для дальнейшей обучаемости системы, в программно-аппаратный комплекс задаются первоначальные селективные параметры семян, которые зависят от вида и сорта сортируемой культуры. На основе данных параметров выстраиваются селективные признаки, извлечение которых связано с уменьшением размерности изображения и выделением отдельных областей и секторов анализа.

Таким образом, при калибровке семян, для сортировки зерна от примесей и семян других культур, в том числе сорных, при определении влажности наиболее эффективно использование черно-белого изображения семени в градациях серого цвета. Однако для определения фитопатологий важным селективным критерием разделения семян на группы являются цветовые параметры. Данные параметры помогают определить возбудитель фитопатологии не только на последней стадии, когда семена изменяют свои физические свойства (форма, размер, плотность), но и на ранней стадии поражения. Очевидно, что при работе фотосепаратора с цветным изображением анализируемого объекта, производительность падает в 4-5 раз, потому что обработка изображения проходит в несколько каналов. На первом канале осуществляется обработка и анализ бинарного изображения семени для определения геометрических параметров объекта. На остальных каналах происходит работа с цветным изображением объекта, где определяется контрастность, яркость, насыщенность и другие цветовые параметры, количество которых зависит от выбранной цветовой модели [8, 37].

Разработанный мной программно-аппаратный комплекс способен работать в 2 режимах:

1. Режим повышенной производительности, при котором распознавание семян осуществляется по бинарному изображению в градациях серого цвета;
2. Режим повышенной точности определения фитопатологий, при котором распознавание семян осуществляется по цветному изображению.

Рассмотрим модель выделения селективных критериев анализируемого

объекта по бинарному изображению в градациях серого цвета. Выделение дефектов на анализируемом объекте с помощью корреляционного метода. Корреляцией называется статистическая взаимосвязь двух или нескольких случайных величин (либо величин, которые можно с некоторой допустимой степенью точности считать таковыми). При этом изменения значений одной или нескольких из этих величин сопутствуют систематическому изменению значений другой или других величин. Математической мерой корреляции двух случайных величин служит коэффициент корреляции [9, 41].

Коэффициент корреляции (ρ) является статистической мерой, которая вычисляет силу взаимосвязи между относительными изменениями двух переменных. Значения коэффициента корреляции находятся в диапазоне от -1,0 до 1,0. Если расчетное число коэффициента корреляции получилось больше 1,0 или меньше -1,0, то произошла ошибка и требуется пересмотреть заданный ряд переменных. В зависимости от коэффициента корреляции различают следующие связи между переменными [42]:

- $\rho = -1$ идеальная отрицательная связь;
- $\rho = +1$ идеальная положительная связь;
- $\rho = 0$ связь между переменными отсутствует;
- $|\rho| < 0,3$ слабая связь;
- $0,3 \leq |\rho| < 0,5$ умеренная связь;
- $0,5 \leq |\rho| < 0,7$ значительная связь;
- $0,7 \leq |\rho| < 0,8$ достаточно тесная связь;
- $0,8 \leq |\rho| < 0,9$ сильная связь;
- $|\rho| \geq 0,9$ очень тесная связь;

С помощью коэффициента корреляции возможно определение взаимосвязи не только между случайными переменными, но между двумя изображениями. Схема алгоритма обнаружения объекта на изображении и определение его дефектов с использованием коэффициента корреляции показана на рисунке 2.4.

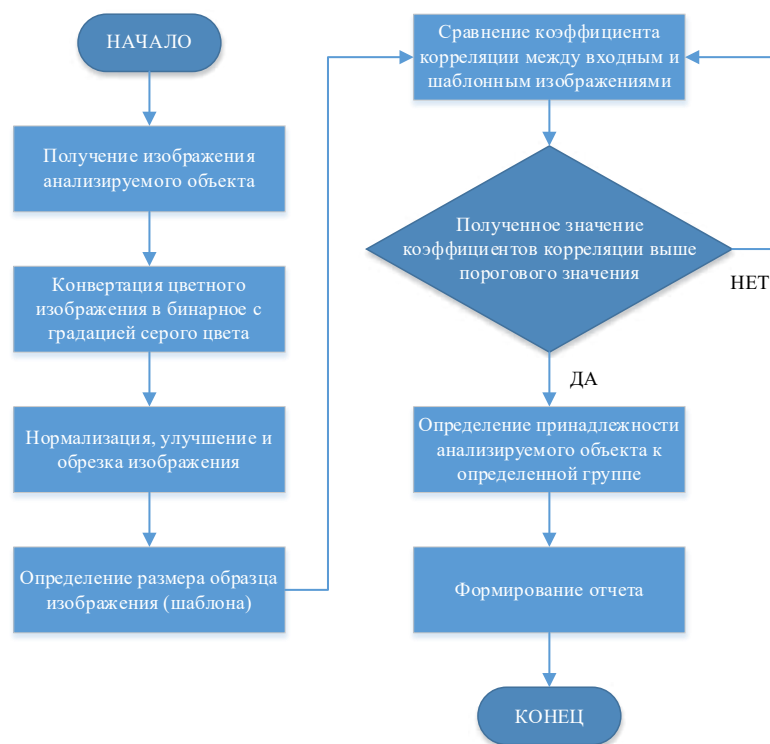


Рисунок 2.4. Схема алгоритма обнаружения дефектов семян и селективных критериев с использованием коэффициента корреляции.

Рассмотрим детально приведенный алгоритм обнаружения объекта на изображении и определение его дефектов с использованием коэффициента корреляции. Для нормальной работы алгоритма необходимо создать базу данных семян, в которой находятся шаблоны изображений зерна с указанием, к какой группе относится объект. Формирование базы данных можно сделать по различным селективным критериям: размерам семян, наличию фитопатологий, принадлежности к определенной культуре и сорту, наличию механических примесей. Так на рисунке 2.4 приведен пример загрузки в базу данных шаблонов бинарных изображений семян пшеницы кондиционных и поврежденных. Данная база данных загружается в программно-аппаратный комплекс и используется при работе алгоритма распознавания семян для дальнейшей их сортировки.



А)



Б)

А – кондиционное семя; Б – поврежденное семя

Рисунок 2.5. Шаблонные изображения семян пшеницы при обнаружении дефектов семян

Данный метод широко используется в современных фотоспараторах. Однако у него есть недостаток – для реализации функции нормализации изображения составляется числовая матрица входящего и шаблонного изображения и дальнейшие вычисления проводятся с ними. Это значительно увеличивает время обработки изображения. Устранить данный недостаток возможно, используя для расчета коэффициента корреляции не числовые матрицы, а соотношение числа пикселей определенной яркости входящего и шаблонного изображений.

Также в микроскопическом анализе зачастую используют дискретные преобразования Фурье при анализе частотных рядов изображения. Существуют многомерные дискретные преобразования Фурье. Одним из важных при обработке и анализе изображения свойств преобразований Фурье является возможность быстрого вычисления корреляции двух функций, определённых либо на заданном промежутке, либо на замкнутом контуре. Для двумерных изображений дискретное преобразование Фурье используется в целях определения частотной области. Согласно проведенному анализу научно-технической литературы, в оптико-электронных устройствах для сортировки продукции зачастую применяется быстрый алгоритм дискретного преобразования Фурье.

2.2. Разработка математической модели физических параметров семян, определяющую селективные критерии сортировки семенного материала при селекционной работе

Определение общих геометрических параметров объекта (периметра и площади) не позволяет также отделить семена разных сортов в связи с большим разбросом геометрических параметров каждого из них. Также при отсутствии цветового анализа изображения невозможно определение фитопатологий зерновых. Именно в этом случае возникает необходимость применения дополнительных этапов анализа и распознавания семян для получения дополнительных селективных признаков разделения семенного материала на группы по культуре, сорту, наличию фитопатологий.

Поэтому для осуществления эффективного разделения семенного материала необходимо в процесс распознавания изображения включить выделение и кластеризацию отдельных областей семян с целью их дальнейшего цветового и математического анализа [63, 94]. Данная операция предоставляет нам дополнительные селективные признаки, по которым можно осуществить разделение семенного материала на группы в зависимости от культуры, сорта, наличия фитопатологий. Для описания и анализа предлагаемой методики рассмотрим процесс сегментации зерен на отдельные участки на примере семян пшеницы (рис. 2.6).

Как видно по приведенным рисункам определение параметров семян для получения селективных признаков разделения на группы по культуре, сорту, наличию фитопатологий состоит из нескольких этапов. Первым этапом является выделение 3 основных областей поверхности и их кластеризация по спектральному свойству (окраске): центральная область 1, соответствующая геометрическому центру тяжести семени, в которой располагается центр установленной системы координат XOY ; верхняя область хохолка семени 2; нижняя область корешка семени 3.

Следующим шагом в определении параметров семян является выделение 2 дополнительных областей по бокам зерна, которые выделяются в виде сегмента окружности: область правой доли зерна 4; область левой доли зерна 5;

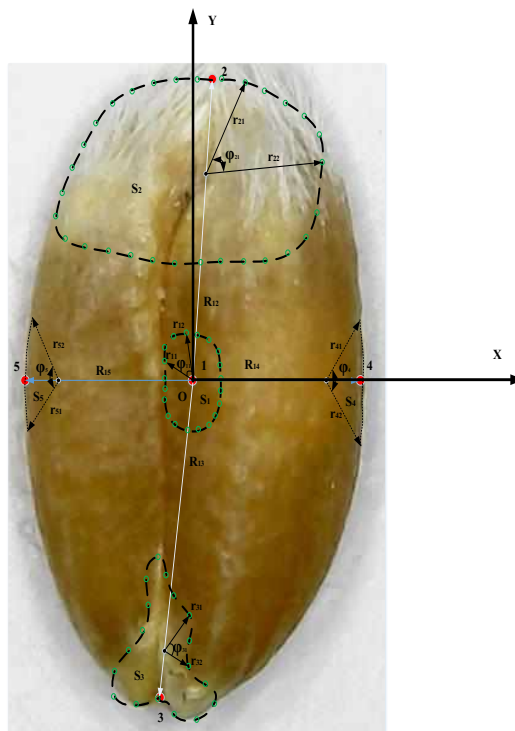


Рисунок 2.6. Изображение семени пшеницы с выделением спектрально обособленных областей поверхности для расчета селективных критериев

Далее, согласно рисункам, определяются расстояния R_{12} —между центральной и верхней точкой семени, R_{13} —между центральной и нижней точкой семени, R_{14} —между центральной и крайней правой точкой семени, R_{15} —между центральной и крайней левой точкой семени.

Таким образом программа в автоматическом режиме, согласно установленной базе, определяет соотношения данных отрезков и в результате позволяет определить, к какой из групп относится анализируемый объект. Чистота выходного продукта при сепарации зерновой массы по данному селективному признаку может достигать 98% [64].

Следующим этапом в определении параметров распознавания семян является выявление селективного признака для разделения семенного материала на группы по наличию фитопатологий (фузариоз, ржавчина, септориоз). Именно для этого и производится выделение 2 дополнительных областей анализа. Согласно разработанной методике, вначале определяются периметры заданных областей с использованием формулы Рамануджана-Александрова для определения дуги эллипса [67]. Окончательное выражение для определения периметра любой из 3 основных областей имеет вид:

$$P_{\text{баз}} = \sum_{i=1}^n \left(\left(\frac{\varphi_i}{2} \times (3 \times (r_i + r_{i+1}) - \sqrt{(3r_i + r_{i+1}) \times (r_i + 3r_{i+1})}) \right) \times \left(1 + e \left(\frac{a_1}{1 - e^{(b_1 \times \left(\frac{r_{i+1}}{r_i}\right)^{(c_1 \times \left(\frac{r_{i+1}}{r_i}\right)^{d_1} + f_1))}} \right)} \right) \right), \quad (2.8)$$

где n – количество точек, полученных при построении контура области; r_i и r_{i+1} – радиус-векторы описываемого эллипса, м; φ_i – угол между радиус-векторами, °; $a_1=0.00402410$, $b_1=-0.29619244$, $c_1=0.67118913$, $d_1=-0.34135465$, $f_1=0.40290813$ – коэффициенты в выражении Рамануджана-Александрова.

Так как дополнительные области 4 и 5 представлены в виде в виде сегмента окружности, то формула для определения их периметра будет иметь вид [67, 68]:

$$P_{\text{доп}} = 2R + \frac{\pi R \times \varphi}{180}, \quad (2.9)$$

где φ – угол сегмента (согласно рисункам, для областей 4 и 5: φ_4 и φ_5), °; R – радиус сегмента, м.

Следующим этапом предлагаемой методики является определение площадей заданных кластерных областей. Для основных областей это действие производится с использованием канонического уравнения эллипса и определения эксцентриситета эллипса в координатной плоскости. Для дополнительных областей используем канонические формулы определения площади сегмента окружности. В результате получаем следующие выражения для определения площадей заданных областей [76]:

$$S_{\text{баз}} = \sum_{i=1}^n r_i \times r_{i+1} \times \arctg\left(\frac{r_{i+1} \times \text{tg}\varphi_i}{r_i}\right), \quad (2.10)$$

где n – количество точек, полученных при построении контура области;
 r_i и r_{i+1} –радиус-векторы описываемого эллипса, м; φ_i –угол между радиус-векторами, °;

$$S_{\text{доп}} = \frac{\pi R^2 \times \varphi}{360}, \quad (2.11)$$

где φ –угол сегмента (согласно рисункам, для областей 4 и 5: φ_4 и φ_5), °;
 R – радиус сегмента (согласно рисункам, для областей 4 и 5: $R=r_{41}=r_{42}$, $R=r_{51}=r_{52}$ соответственно), м.

Завершающим этапом предлагаемой методики является определение спектральных характеристик выбранных областей, то есть окраски поверхности. Определение окраски осуществляется программным способом посредством нахождения RGB или HSV параметров пикселей, входящих в область и получение усредненного значения, характеризующего окраску данной области. Данная операция выполнялась при помощи специализированных программ. В данных программах выделялась область анализа и определялось среднее значение цветовой характеристики поверхности в 2 программных пространствах RGB и HSV.

Наиболее простым и удобным пространством для цветового анализа объекта является одномерное яркостное пространство изображения. Объясняется это тем, что для большинства изображений контрастная чувствительность остается постоянной во всем диапазоне яркостей, что позволяет математически анализировать модуль дифференциации яркостей отдельных участков объекта. Однако стоит учесть, что признаки цвета несут дополнительную информацию [80].

В пикселях полутоновых цифровых изображений сохраняется единственная величина – это интенсивность (или уровень серого), в то время как каждый пиксель цветного изображения содержит три значения интенсивности в соответствии с трехкомпонентной теорией цвета. Разработаны и применяются различные виды цветовых пространств, включая

аппаратно-ориентированные, пространства, ориентированные на визуальное восприятие человека, или ориентированные на инструментальное использование в полиграфии. RGB-цветовое пространство (R – красный, G – зеленый, B – голубой) хорошо согласуется со способом фиксации изображения цифровой камерой и конструкцией цветных дисплеев [80, 83].

Два других наиболее распространенных цветовых пространства – это HSL (цветовой тон, насыщенность, светлота) и HSV (цветовой тон, насыщенность, яркость), в которых приняты цилиндрические координаты. Модель HSV хорошо согласуется с человеческим восприятием и удобна для проведения математических расчетов, связанных с определением цветовых характеристик объекта: цветовой тон — длина волны света, насыщенность — интенсивность волны, а яркость — количество света [47, 103].

Сравнивая приведенные цветовые пространства можно сделать вывод, что, при анализе изображения в формате RGB нельзя количественно оценить цветовые параметры анализируемого объекта (зерна). Поэтому целесообразно использование HSV-пространства для идентификации фитопатологий зерновых по изображению.

Таким образом при выделении 5 областей на поверхности семян с определением их геометрических (периметр, площадь) и спектральных характеристик (окраска) у нас появляется возможность введения третьего селективного признака разделения семенного материала на группы по наличию фитопатологий. Это можно установить путем нахождения соотношений площадей и спектральных характеристик выделенных областей. Для установления этих соотношений необходимо провести экспериментальное исследование, в результате которого будет сформирована база для включения в оптико-электронную установку для анализа и идентификации семенного материала параметров выделения таких фитопатологий, как фузариоз, септориоз и головня.

Таким образом, для получения новых селективных критериев, позволяющих идентифицировать фитопатологии зерновых и отсортировать

семенной материал на группы согласно данному признаку, необходимо составить математическую модель физических параметров семян, определяющих их посевные качества. Для определения показателей качества семенного материала и принадлежности семян к той или иной группе достаточно определения геометрических параметров (периметр выделенной области, её площадь) и цветовых характеристик выделенной области семени. Согласно исследованиям, приведенным в диссертациях Акимова А.В. «Алгоритмы обработки информации в задачах распознавания и аугментации сигналов и изображений на основе моделей деформирующих искажений» и Волкова Д.А. «Модель, метод и нейросетевое оптикоэлектронное вычислительное устройство распознавания изображений», для определения дефектов анализируемых объектов достаточно выделить 3 области. Так как семена пшеницы являются живым объектом, селективные признаки которого могут изменяться в зависимости от сорта и внешних условий произрастания, то согласно исследованиям, приведенными в диссертации Барышева Д.Д. «Программно-аппаратный комплекс оценки качества фракционирования семян пшеницы по биоэлектрическим сигналам», то для увеличения количества выделяемых селективных критериев необходимо добавить в алгоритм цветового анализа 2 дополнительные области [85].

Для определения геометрических параметров выделенных областей семян пшеницы используются формулы 2.8-2.11 в зависимости от рассматриваемой области. Для определения цветовых параметров современные оптические устройства используют RGB цветовую модель, которая позволяет точно выводить изображение на монитор, однако для проведения математических расчетов цветовых параметров отдельной области данная модель не эффективна, поэтому после получения параметров RGB оптическим блоком установки, они преобразуются в систему HSV.

При распознавании изображения анализируемого объекта, работа с цветовыми параметрами в виде функции проблематично в виду большого разброса количественных значений данных параметров. Поэтому для

цветового анализа выделенных областей семян удобно использование усредненных среднеарифметических значений HSV цветовых параметров отдельных точек области.

Также для распознавания изображения и выявления дефектов опико-электронным методом к компьютерной графике используют цветовой градиент, который определяет диапазон зависимых от позиции цветов и обычно используется для заполнения области. Цвета, создаваемые градиентом, непрерывно меняются в зависимости от положения, обеспечивая плавные переходы цветов [86, 103].

С учетом методики компьютерного распознавания изображений и выделения дефектов на анализируемых объектах, мной была разработана математическая модель определения физических параметров семян пшеницы и расчета селективных критериев выделенных областей семян. Рассмотрим данную модель.

Вначале производится выделение анализируемых областей семян согласно заданному числу пикселей. Для выделения дефектов согласно исследованиям, приведенным в диссертации Волкова Д.А., для выделения дефекта достаточно 256 пикселей, однако для увеличения качества проводимого анализа возможно изменение этого количества в большую сторону [87].

На первом этапе происходит подсчет количества пикселей заданной области семени и расчет её площади с учетом размера пикселя, который задан изначально, исходя из оптических характеристик фотокамеры. Вышеописанный расчет геометрических параметров заданных 5 областей семени можно представить в виде системы уравнений 2.12.

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 2.13.

$$\left\{ \begin{array}{l} N_x = 256 \times \frac{A}{d_{min}} \\ \mu = \frac{A}{H_w} \\ r_i = \mu \times \sqrt{(x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_i)^2}, \\ \text{при условии } x_0 > N_x, y_0 > N_x \\ \varphi = \arctg\left(\frac{y_{i+1}-y_i}{x_{i+1}-x_i}\right) - \arctg\left(\frac{y_{i-1}-y_i}{x_{i-1}-x_i}\right) \\ S_i = \int_{\varphi=0}^{360} r_i \times r_{i+1} \times \arctg\left(\frac{r_{i+1} \times \text{tg}\varphi}{r_i}\right) d\varphi \end{array} \right. \quad (2.12)$$

где N_x – количество пикселей анализируемой области семени, шт; A – ширина зоны анализа объекта, мм; d_{min} – минимальный размер (диаметр) объекта анализа, мм; μ – 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; φ – угол между заданными радиус-векторами, град; S_i – площадь анализируемой области, мм².

$$\left\{ \begin{array}{l} R = \int_{i=1}^{N_x} pixel_{values}(R), G = \int_{i=1}^{N_x} pixel_{values}(G), \\ B = \int_{i=1}^{N_x} pixel_{values}(B) \\ Max = \max\{R, G, B\}, Min = \min\{R, G, B\} \\ H = \begin{cases} 0, \text{если } Max = Min \\ 60 \times \frac{G-B}{Max-Min} + 0, \text{если } Max = R \text{ и } G \geq B \\ 60 \times \frac{G-B}{Max-Min} + 360, \text{если } Max = R \text{ и } G < B \\ 60 \times \frac{B-R}{Max-Min} + 120, \text{если } Max = G \\ 60 \times \frac{R-G}{Max-Min} + 240, \text{если } Max = B \end{cases} \\ S = \begin{cases} 0, \text{если } Max = 0 \\ 100 \times \left(1 - \frac{Min}{Max}\right), \text{если } Max \neq 0 \end{cases} \\ V = Max \end{array} \right. \quad (2.13)$$

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

Третьей частью математической модели является построение функции $z = f(H; S; V)$ распределения цветковых параметров по выделенной области. Также на данном этапе определяется медиана заданной функции распределения цветковых параметров по выделенной области $M (H_{cp}; S_{cp}; V_{cp})$.

На третьем этапе проводится расчет вектора градиента функции распределения цветковых параметров по выделенной области в следующем виде [88]:

$$\nabla z = \frac{\partial z}{\partial H} i + \frac{\partial z}{\partial S} j + \frac{\partial z}{\partial V} k \quad (2.14)$$

Следующим шагом является определение модуля вектора градиента функции распределения цветковых параметров, который определяется по следующей формуле [87]:

$$|\nabla z| = \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial H}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial S}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial V}\right)^2} \quad (2.15)$$

На заключительном этапе проводится определение информативных селективных критериев для каждой из 5 выделенных областей с помощью следующей системы уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} K_1 = \frac{|\nabla z_1| \cdot S_1}{S_1 + S_2 + S_3} \\ K_2 = \frac{|\nabla z_2| \cdot S_2}{S_1 + S_2 + S_3} \\ K_3 = \frac{|\nabla z_3| \cdot S_3}{S_1 + S_2 + S_3} \\ K_4 = \frac{|\nabla z_4| \cdot S_4}{S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5} \\ K_5 = \frac{|\nabla z_5| \cdot S_5}{S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5} \end{array} \right. , \quad (2.16)$$

где K_1, K_2, K_3 – селективных критерии распределения цветковых параметров центральной, верхней и нижней областей семени соответственно; K_4, K_5 – селективных критерии распределения цветковых параметров дополнительных правых и левых областей семени; S_1-S_5 – площади соответствующих областей, мм²; $|\nabla z_1| - |\nabla z_5|$ – модули векторов градиента функции распределения цветковых параметров соответствующих выделенных зон анализа семени.

Таким образом, математическую модель физических параметров семян пшеницы, определяющую селективные критерии сортировки семенного материала при селекционной работе, можно представить в виде системы уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l}
 N_x = 256 \times \frac{A}{d} \\
 \mu = \frac{A}{H_w} \\
 r_i = \mu \times \sqrt{(x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_i)^2}, \\
 \text{при условии } x_0 > N_x, y_0 > N_x \\
 \Delta\varphi = \arctg\left(\frac{y_{i+1}-y_i}{x_{i+1}-x_i}\right) - \arctg\left(\frac{y_{i-1}-y_i}{x_{i-1}-x_i}\right) \\
 S_i = \int_{\varphi=0}^{360} r_i \times r_{i+1} \times \arctg\left(\frac{r_{i+1} \times \text{tg}\varphi}{r_i}\right) d\varphi \\
 R = \int_{i=1}^{N_x} \text{pixel_values}(R), G = \int_{i=1}^{N_x} \text{pixel_values}(G), \\
 B = \int_{i=1}^{N_x} \text{pixel_values}(B) \\
 \text{Max} = \max\{R, G, B\}, \text{Min} = \min\{R, G, B\} \\
 \text{0, если Max} = \text{Min} \\
 H = \begin{cases} 60 \times \frac{G-B}{\text{Max}-\text{Min}} + 0, \text{ если Max} = R \text{ и } G \geq B \\ 60 \times \frac{G-B}{\text{Max}-\text{Min}} + 360, \text{ если Max} = R \text{ и } G < B \\ 60 \times \frac{B-R}{\text{Max}-\text{Min}} + 120, \text{ если Max} = G \\ 60 \times \frac{R-G}{\text{Max}-\text{Min}} + 240, \text{ если Max} = B \end{cases} \\
 S = \begin{cases} 0, \text{ если Max} = 0 \\ 100 \times \left(1 - \frac{\text{Min}}{\text{Max}}\right), \text{ если Max} \neq 0 \end{cases} \\
 V = \text{Max} \\
 z = f(H; S; V) \\
 \nabla z_i = \frac{\partial z}{\partial H} i + \frac{\partial z}{\partial S} j + \frac{\partial z}{\partial V} k \\
 |\nabla z_i| = \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial H}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial S}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial V}\right)^2} \\
 \begin{cases} K_1 = \frac{|\nabla z_1| \cdot S_1}{S_1 + S_2 + S_3} \\ K_2 = \frac{|\nabla z_2| \cdot S_2}{S_1 + S_2 + S_3} \\ K_3 = \frac{|\nabla z_3| \cdot S_3}{S_1 + S_2 + S_3} \\ K_4 = \frac{|\nabla z_4| \cdot S_4}{S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5} \\ K_5 = \frac{|\nabla z_5| \cdot S_5}{S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5} \end{cases}
 \end{array} \right. \quad (2.17)$$

Рассмотрим возможность использования полученной математической модели физических параметров семян пшеницы в оптико-электронной установке с целью расширения спектра селективных критериев при отборе семенного материала в селекционных центрах. Расширение количества селективных признаков достигается за счет использования информативных критериев $K_1 - K_5$, определяющих распределение цветовых параметров семян, а соответственно и ключевые показатели качества, требуемые при отборе семенного материала (сортовая чистота, наличие фитопатологий). Для этого в аналитический блок оптико-электронной установки необходимо заложить алгоритм, позволяющий сравнивать расчетные значения селективных критериев $K_1 - K_5$ с эталонными значениями, приведенными в базе данных цветовых параметров семян выбранной культуры и сорта.

Для точной и достаточно быстрой идентификации дефектов и фитопатологий зерновых достаточно использования 3 базовых селективных критерия распределения цветовых параметров центральной, верхней и нижней областей семени. Однако в случае, когда сравниваемые значения селективных критериев попадают в граничный диапазон базы данных цветовых параметров, вводятся дополнительные информативные признаки для боковых областей семени K_4 и K_5 .

Селективные критерии выделяемых областей анализируемых семян зависят непосредственно от площади зоны анализа, а соответственно от размера анализируемого зерна. Поэтому необходимо рассмотреть распределение селективных критериев выделяемых областей в зависимости от размера анализируемого семени согласно разработанной математической модели физических параметров семян. Для этого проведем теоретический анализ эффективности использования выбранных селективных критериев при отсортировке семян различных сельскохозяйственных культур, в том числе пшеницы, по признаку наличия фитопатологий (фузариоз, септориоз, головня) и рассмотрим теоретические графики распределения селективных критериев выделенных областей семян различных размеров (Рис. 2.7-2.11).

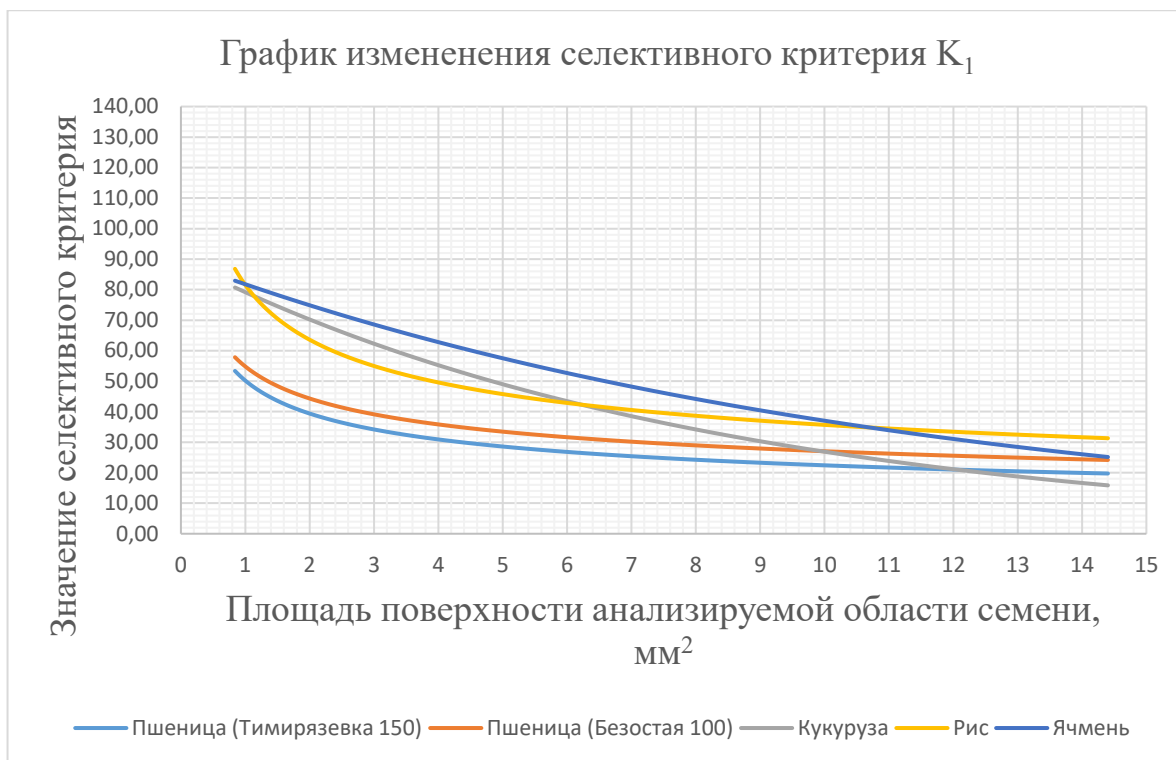


Рисунок 2.7. Теоретический график зависимости селективного критерия K_1 центральной области анализируемого семени от площади поверхности

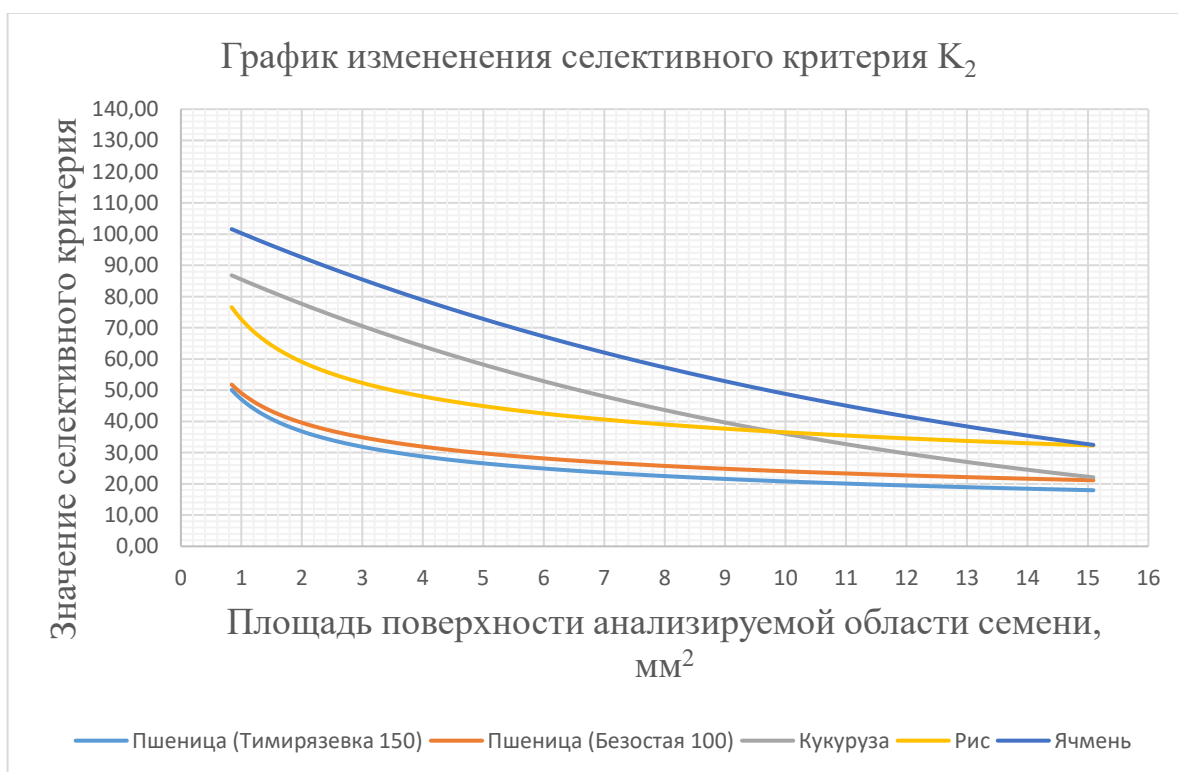


Рисунок 2.8. Теоретический график зависимости селективного критерия K_2 верхней области анализируемого семени от площади поверхности

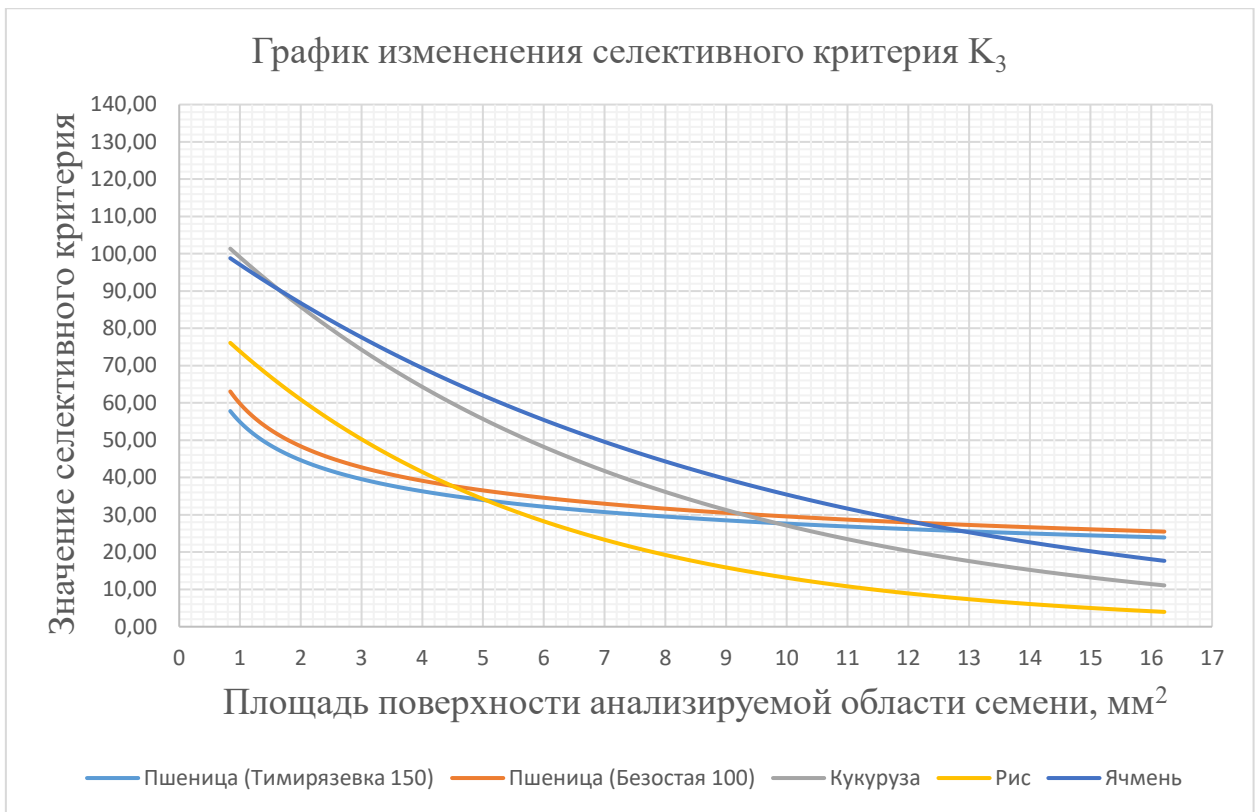


Рисунок 2.9. Теоретический график зависимости селективного критерия K_3 нижней области анализируемого семени от площади поверхности

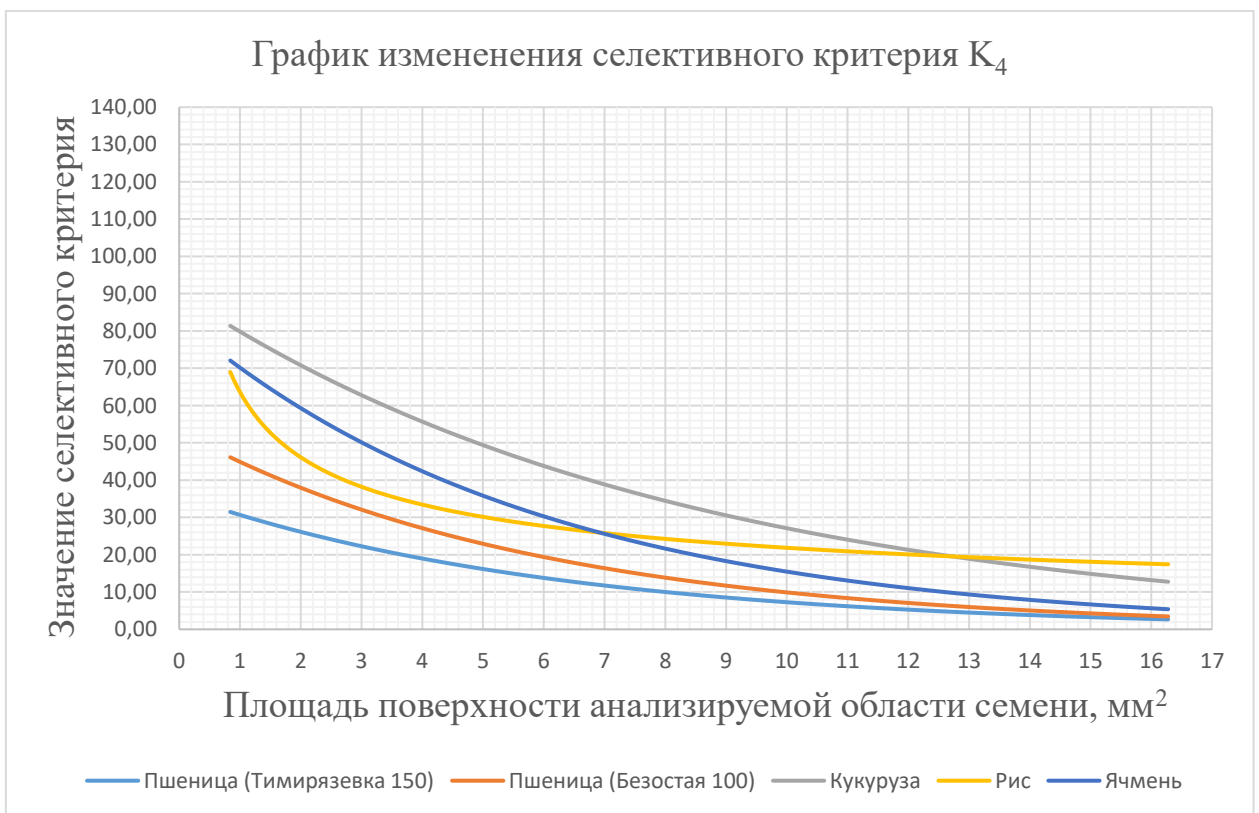


Рисунок 2.10. Теоретический график зависимости селективного критерия K_4 дополнительной правой области семени от площади поверхности

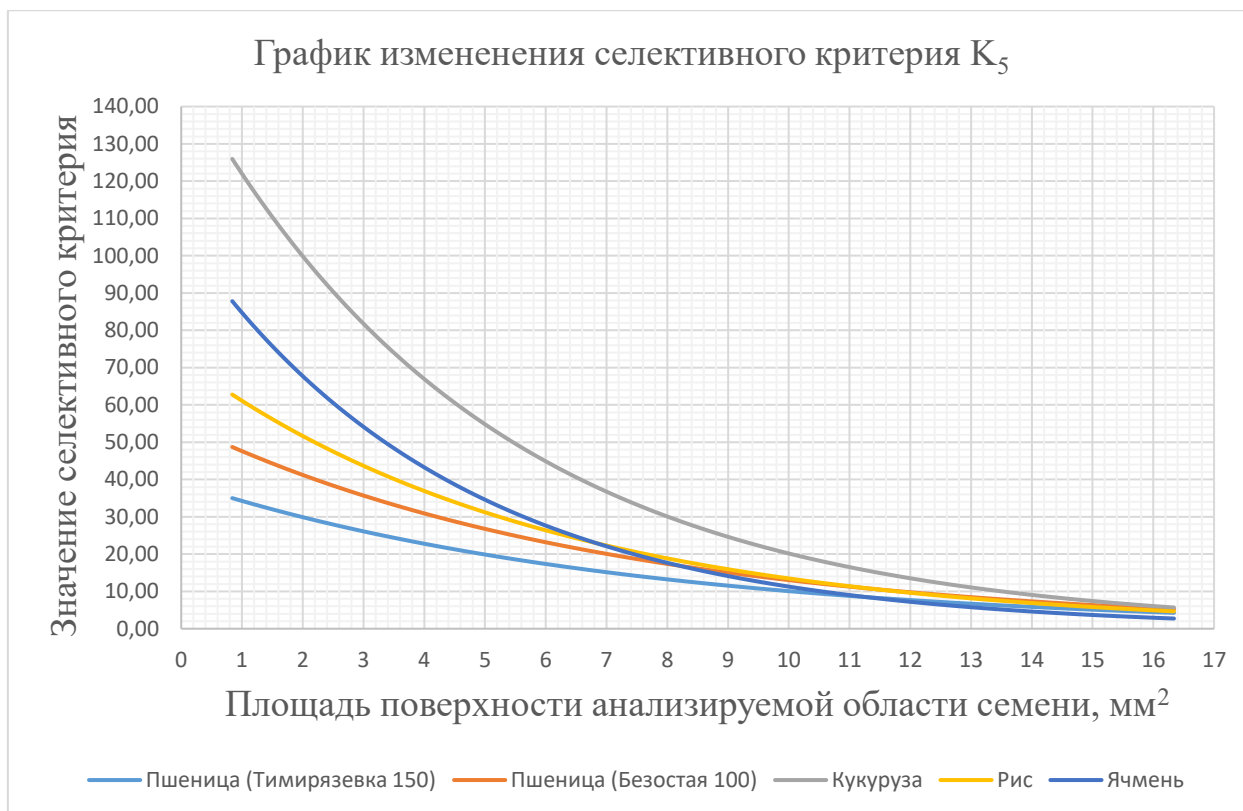


Рисунок 2.11. Теоретический график зависимости селективного критерия K_5 дополнительной левой области семени от площади поверхности

Проводя анализ полученных графиков распределения селективных критериев для выделенных областей поверхности семени, можно сделать вывод, что для каждой зерновой культуры характерно распределение цветовых параметров в определенном диапазоне. При этом большинство семян имеют усредненные значения цветовых параметров, которые могут свидетельствовать о выполнении заданных показателей качества. Также семена, попадающие в граничный диапазон распределения селективного критерия имеют значительные отклонения градиента цвета. Соответственно такие семена имеют какие-либо дефекты либо поражены фитопатологиями и подлежат отбраковки посредством оптико-электронной установки.

Проведя исследование полученных графиков, установим доверительные интервалы распределения селективных критериев, определяющие принадлежность сортируемого семенного материала к той или иной группе по признаку наличия фитопатологий (фузариоз, септориоз, головня). Согласно

заданным селективным критериям оптико-электронным методом можно разделить семенной материал на 2 группы: кондиционные семена, которые можно использовать при работе в селекционных центрах и отбраковка, которая подлежит дополнительной обработке и использованию в других сферах АПК. Результаты занесем в таблицу 2.1.

Согласно заданной системе уравнений, соответствующей математической модели физических параметров семян пшеницы, на заключительном этапе программа в автоматическом режиме, методом корреляции по установленной базе определяет соотношения полученных значений математической модели физических параметров семян, определяющих качество посевного материала, и в результате позволяет определить, к какой из групп относится анализируемый объект. Таким образом, при наличии базы данных исследований семян пшеницы, с помощью оптико-электронной установки возможно разделение семенного материала на группы по наличию фитопатологий.

Таблица 2.1. Доверительные интервалы распределения селективных критериев, определяющих качество семенного материала

Вид культуры	Пшеница (Тимерязевка 150)		Пшеница (Безостая 100)		Кукуруза		Рис		Ячмень	
	Кондиционные семена	Отбраковка	Кондиционные семена	Отбраковка	Кондиционные семена	Отбраковка	Кондиционные семена	Отбраковка	Кондиционные семена	Отбраковка
Центральная область (критерий К ₁)	[30;45]	[0;30] v (45;60)	[35;50]	[0;35] v (50;60)	[10;50]	[0;10] v (50;60)	[45;60]	[0;45] v (60;65)	[40;70]	[0;40] v (70;77)
Верхняя область (критерий К ₂)	[29;50]	[0;29] v (50;60)	[37;50]	[0;37] v (50;65)	[10;60]	[0;10] v (60;70)	[42;55]	[0;42] v (55;62)	[47;75]	[0;47] v (75;80)
Нижняя область (критерий К ₃)	[34;50]	[0;34] v (50;60)	[39;55]	[0;39] v (55;70)	[10;60]	[0;10] v (60;70)	[45;65]	[0;45] v (65;70)	[40;90]	[0;40] v (90;100)
Правая область (критерий К ₄)	[19;28]	[0;19] v (28;36)	[28;43]	[0;28] v (43;60)	[10;50]	[0;10] v (50;57)	[25;40]	[0;25] v (40;45)	[18;50]	[0;18] v (50;55)
Левая область (критерий К ₅)	[23;32]	[0;23] v (32;40)	[31;45]	[0;31] v (45;60)	[6;55]	[0;6] v (55;61)	[25;46]	[0;25] v (46;50)	[19;55]	[0;19] v (55;60)

2.3 Расчет электрооптических параметров оптического блока установки для сортировки семенного материала

Фокусное расстояние и угловое поле зрения объектива. Согласно методике расчета оптико-электронных устройств фотокамер [36, 48], угловое поле зрения объективов разделяют на 2 составляющие: угловое поле зрения в рабочей зоне анализа объектов $2\alpha_{об}$ и угловое поле зрения в области изображения $2\alpha_{из}$ (рисунок 2.12).

Согласно каноническим законам оптики выражения для определения этих углов будут иметь следующий вид [36]:

$$\begin{cases} 2\alpha_{из} = 2 \times \arctg\left(\frac{\sigma}{2 \times F}\right) \\ 2\alpha_{об} = 2 \times \arctg\left(\frac{A_d}{2 \times H}\right) \end{cases}, \quad (2.18)$$

где σ —диагональ матрицы оптического устройства, м; F —фокусное расстояние объектива, м; A_d —размер зоны анализа (диагональ), м; H —наименьшее расстояние от плоскости зрачка объектива до плоскости объекта в зоне анализа, м.

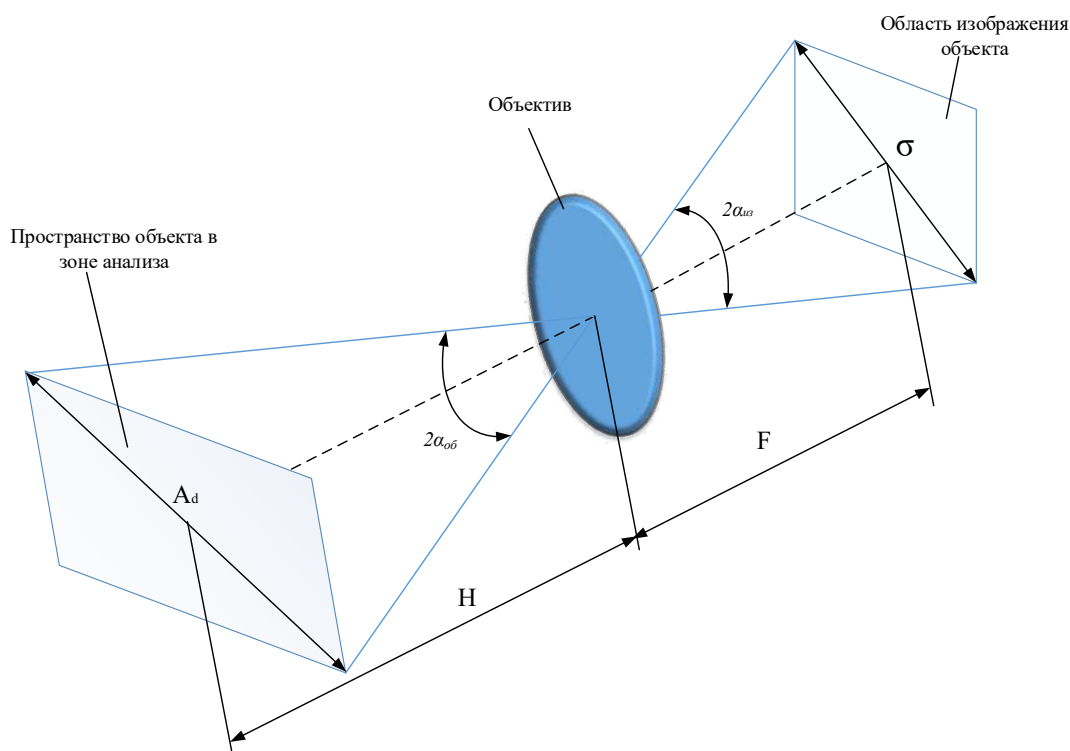


Рисунок 2.12. Схема получения изображения с объектива [48]

Так как в заданной системе уравнений четыре неизвестных, то рассчитать без дополнительных действий данную систему невозможно. Поэтому первым этапом для сокращения числа неизвестных является определение рационального расстояния до анализируемого объекта H . Для обеспечения эффективного цветового анализа с достаточной скоростью работы необходимо достижение компромисса между следующими правилами:

- чем больше расстояние от объектива до анализируемого объекта, тем больше будет освещенность на матрице оптического устройства;
- чем больше расстояние от объектива до анализируемого объекта, тем меньше угловое поле зрения объектива.

Вышеописанные условия обусловлены необходимостью оптимизации параметров яркости внешних источников света и негативного воздействия на процесс анализа аберраций и искажений изображения, которые характерны для используемых в современных установках широкоугольных объективов.

Применяя вышеописанные условия и используя различные модели промышленных фотокамер, было проведено экспериментальное лабораторное исследование для определения рациональных значений размера зоны анализа A_d и расстояния от объектива до анализируемого объекта в зоне анализа H , при которых полученное изображение семян имело наилучшее качество. Результаты проведенного исследования были занесены в таблицу 2.2.

Таблица 2.2. Результаты экспериментального исследования по определению рациональных значений A_d и H

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A_d , м	0,5	0,5	0,45	0,45	0,4	0,4	0,35	0,35	0,3	0,3
H , м	0,1	0,07	0,1	0,2	0,06	0,08	0,15	0,08	0,05	0,14

В симметричных объективах (без дополнительных функций макросъемки и телефотоувеличения) угловое поле зрения в пространстве анализируемых объектов и угловое поле зрения в области получаемого

изображения зачастую примерно совпадают по значению, отсюда можем вывести следующее уравнение:

$$2\alpha_{об} \approx 2\alpha_{из} = 2\alpha, \quad (2.19)$$

Тогда с учетом выбранного рационального расстояния до анализируемого объекта Н и системы уравнений (2.18) получаем:

$$\begin{cases} 2\alpha = 2 \times \arctg\left(\frac{A_d}{2 \times H}\right) \\ F = \frac{\sigma}{2 \times \tg(\alpha)} \end{cases}, \quad (2.20)$$

Используя данные экспериментального исследования по определению рациональных значений A_d и H , приведенные в таблице 2.3., решаем полученную систему уравнений и определяем рациональные значения фокусного расстояния F и углового поля зрения 2α объектива. Полученные данные заносим в таблицу 2.3.

Таблица 2.3. Результаты вычисления рациональных значений фокусного расстояния и углового поля зрения объектива

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$2\alpha, ^\circ$	136,4	148,7	132,1	96,7	146,6	136,4	98,8	130,9	143,1	93,9
$F, \text{мм}$	17,35	24,79	15,62	7,81	23,13	17,35	8,10	15,18	20,82	7,44

Также следует учитывать тот факт, что правильно выбранное положение оптического блока регистрации относительно объекта в рабочей зоне анализа, как уже было сказано в предыдущем пункте, оказывает сильное влияние на качество изображения, а соответственно и всего процесса цветового анализа семенного материала (рисунок 2.13).

Из приведенного рисунка видно, что если расположить объект в рабочей зоне анализа на меньшем расстоянии от объектива, чем требуется по выполненному оптическому расчету, то крайние участки будут вне поля зрения фотокамеры, то есть не попадут в кадр и изображение объекта будет обрезанным.

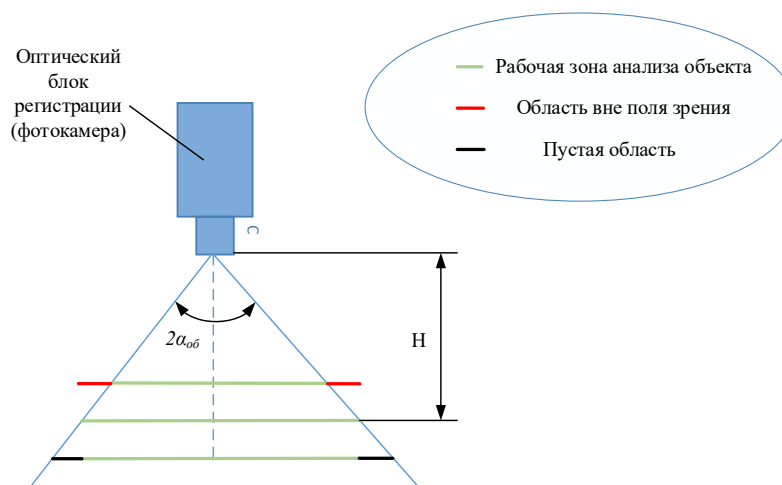


Рисунок 2.13. Схема влияния оптимального положения оптического блока регистрации относительно объекта в рабочей зоне анализа [44]

Аналогично, если объект анализа с рабочей зоной расположить дальше требуемого расстояния от объектива, то крайние участки изображения будут пустыми и в дальнейшем потребуется больше времени для анализа изображения. Последний пример допускается алгоритмом работы оптико-электронной установки, потому что части поверхности объектов не обрезаются, как это происходит в первом случае с пустыми областями анализа. Однако общее количество пикселей на изображении объекта будет меньшим, нежели при оптимальном расположении зоны анализа и оптического блока, и это оказывает негативное влияние на процесс выделения мелких деталей, что очень важно при работе с семенным материалом [50].

После проведения анализа полученных результатов вычисления рациональных значений фокусного расстояния и углового поля зрения объектива и исходя из технических характеристик фотокамер, задействованных в экспериментальном исследовании, было установлено, что для получения качественного изображения анализируемого объекта необходимо использовать объективы со следующими рациональными значениями фокусного расстояния F : 8 мм, 16 мм, 25 мм. Объективы с данными фокусными расстояниями представлены в различных модификациях и могут различаться как стандартным разрешением (от 2 до 20 Мегапикселей),

так и диафрагменным числом (от F1,4 до F16), которое для объективов является динамическим параметром, устанавливаемым при настройке оптического блока.

Глубина резкости фотообъектива. Согласно закономерностям построения оптико-электронных систем [40, 48], получаемое изображение семени (объекта) получается резким лишь тогда, когда данный объект в зоне анализа попадает в фокус объектива оптического блока регистрации. Правильнее будет сказать, что это будет вовсе не объект анализа установки, а двумерная поверхность, находящаяся в плоскости фокусировки блока. Из этого можно сделать вывод, что при любом отклонении объекта от этой плоскости вдоль главной оптической оси объектива происходит потеря резкости изображения. Но стоит отметить, что величина «глубина резкости» в данном случае является определенным рода отклонением, которое устанавливает определенный диапазон расстояний от анализируемого объекта (зерна) до объектива оптического блока, в пределах которого сдвиг идеального положения объекта вдоль главной оптической оси объектива не приводит к значительному ухудшению качества получаемого изображения.

Вычисление этого расстояния осуществляется с использованием канонических формул [102], которые имеют следующий вид:

$$L_{\text{фронт}} = \frac{H \times F^2}{F^2 + f_x \times (H - F) \times \delta}, \quad (2.21)$$

$$L_{\text{зад}} = \frac{H \times F^2}{F^2 - f_x \times (H - F) \times \delta}, \quad (2.22)$$

$$\Delta L = L_{\text{зад}} - L_{\text{фронт}} = 2 \frac{L_{\text{фронт}} \times L_{\text{зад}}}{F^2} \times f_x \times \delta, \quad (2.23)$$

где $L_{\text{фронт}}$ и $L_{\text{зад}}$ – расстояния от фронтальной главной плоскости оптической системы (объектива) до передней и задней границ диапазона глубины резкости, соответственно, м; H – расстояние до анализируемого объекта (плоскости, в которой он находится), м; F – фокусное расстояние объектива, м; f_x – значение диафрагмы (диафрагменное число); δ – диаметр кружка нерезкости на матрице оптического блока регистрации, м.

Понятие «кружок нерезкости» используется в технической и научной литературе и означает «нерезкое изображение изолированной точки, образуемое реальным съёмочным фотографическим объективом и принимаемое за норму при расчётах глубины резкости» [51, 101].

В современных оптико-электронных установках для анализа и сортировки семенного материала используются оптические устройства (фотокамеры) матричного типа, в которых минимально допустимый диаметр кружка нерезкости равен размеру его пикселя μ . Современное оптическое приборостроение имеет тенденцию к уменьшению размера пикселя, соответственно это положительно будет сказываться на параметре глубина резкости, что ведет к прямому увеличению эффективности оптико-электронных систем анализа и сортировки семян [58].

Подставляем вышеописанное допущение для кружка нерезкости в формулу (2.23) и получаем результирующее выражение для определения глубины резкости:

$$\Delta L = 2 \frac{H^2 \times F^2 \times f_x \times \mu}{(F^2 - f_x \times (H - F) \times \mu) \times (F^2 + f_x \times (H - F) \times \mu)}, \quad (2.24)$$

где μ – размер пикселя, м;

Произведем расчет глубины резкости по формуле (2.24) с учетом данных экспериментального исследования размера зоны анализа A_d и расстояния от объектива до анализируемого объекта в зоне анализа H , приведенных в таблице 2.1, а также расчетных рациональных значений фокусного расстояния F , полученных в предыдущем разделе диссертации. Проведя анализ научно-технической литературы и технической документации оптических приборов, было установлено, что для большинства современных промышленных фотокамер размер пикселя μ составляет 2,74 мкм, а значение диафрагменного числа f_x является переменной величиной и варьируется от 1,4 до 16 мм. Проведем вычисление ΔL используя вышеописанные допущения и результаты расчета сведем в таблицу 2.4.

Таблица 2.4. Результаты вычисления рациональных значений глубины резкости для различных значений фокусного расстояния и значения диафрагмы

№	F, мм	H, мм	f_x , мм	ΔL , мм	№	F, мм	H, мм	f_x , мм	ΔL , мм
1.	8	150	1,4	9,82	2.	8	200	1,4	17,55
3.	8	150	2	14,12	4.	8	200	2	25,29
5.	8	150	2,8	19,94	6.	8	200	2,8	35,82
7.	8	150	4	28,85	8.	8	200	4	52,07
9.	8	150	5,6	41,09	10.	8	200	5,6	74,60
11.	8	150	8	60,22	12.	8	200	8	110,32
13.	8	150	11	85,49	14.	8	200	11	158,42
15.	8	150	16	131,19	16.	8	200	16	247,80
17.	8	140	1,4	8,55	18.	25	70	1,4	20,59
19.	8	140	2	12,28	20.	25	70	2	29,42
21.	8	140	2,8	17,33	22.	25	70	2,8	41,20
23.	8	140	4	25,06	24.	25	70	4	58,88
25.	8	140	5,6	35,64	26.	25	70	5,6	82,48
27.	8	140	8	52,14	28.	25	70	8	117,93
29.	8	140	11	73,86	30.	25	70	11	162,32
31.	8	140	16	112,91	32.	25	70	16	236,50
33.	16	100	1,4	17,24	34.	25	60	1,4	15,13
35.	16	100	2	24,65	36.	25	60	2	21,61
37.	16	100	2,8	34,56	38.	25	60	2,8	30,26
39.	16	100	4	49,46	40.	25	60	4	43,25
41.	16	100	5,6	69,42	42.	25	60	5,6	60,57
43.	16	100	8	99,55	44.	25	60	8	86,59
45.	16	100	11	137,53	46.	25	60	11	119,15
47.	16	100	16	201,63	48.	25	60	16	173,54
49.	16	80	1,4	11,03	50.	25	50	1,4	10,50
51.	16	80	2	15,77	52.	25	50	2	15,01
53.	16	80	2,8	22,09	54.	25	50	2,8	21,01
55.	16	80	4	31,61	56.	25	50	4	30,02
57.	16	80	5,6	44,34	58.	25	50	5,6	42,05
59.	16	80	8	63,52	60.	25	50	8	60,09
61.	16	80	11	87,66	62.	25	50	11	82,67
63.	16	80	16	128,27	64.	25	50	16	120,37

Также является необходимым отметить, что пределы глубины резкости распределяются несимметрично относительно плоскости фокусировки оптической системы, при этом интервал между плоскостью фокусировки и фронтальной границей зачастую в 2-3 раза меньше, чем до задней [48].

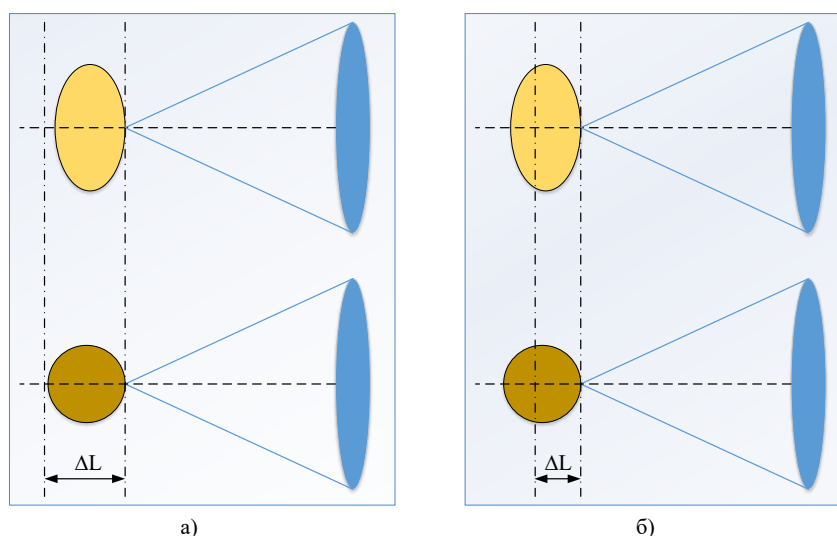
Из вышесказанного можно сделать вывод, что размер анализируемого объекта (зерна) определяет необходимую для эффективного анализа глубину резкости в зависимости от результатов анализа следующего неравенства:

$$\Delta L \geq R_{max} , \quad (2.25)$$

где R_{max} – максимальный размер объектов сортировки (семян), м.

Поясним вышеописанное неравенство с помощью схемы, приведенной на рисунке 2.14.

Из приведенного рисунка видно, что для качественного и эффективного анализа семян различных сельскохозяйственных культур в рабочей зоне анализа установки с максимальной четкостью, следует рассматривать именно максимальные размеры объекта (диаметр семени), а не его радиус [65].



а – выбрано рациональное значение глубины резкости; б – глубина резкости не соответствует условию

Рисунок 2.14. Схема, поясняющая условие определения требуемой глубины резкости объектива по размерам анализируемого объекта

При расчете параметров и выборе режимов работы оптико-электронной установки для анализа и сортировки семенного материала глубина резкости должна обязательно учитываться при определении вероятных отклонений траекторий перемещения объекта с транспортера в зону анализа от идеальной (рисунок 2.15).

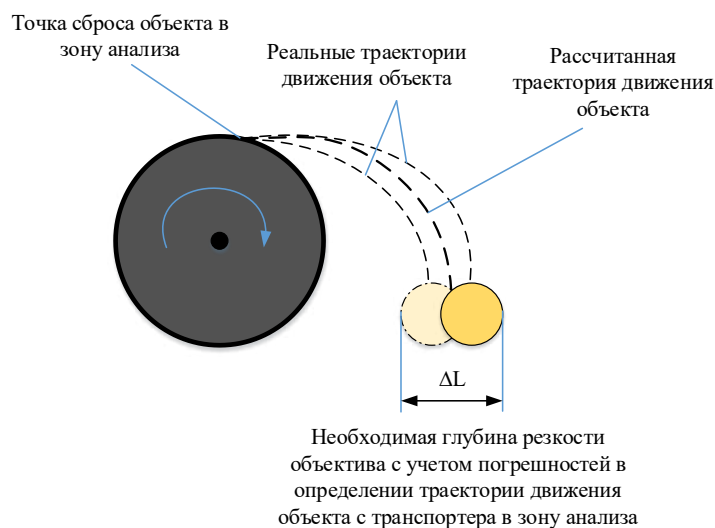


Рисунок 2.15. Схема влияния погрешности определения траектории движения объектов на диапазон глубины резкости [48]

Такие возникающие отклонения являются результатом разброса параметров движения объектов с транспортера в рабочую зону анализа, который связан с вибрациями на транспортной ленте, взаимодействиями объектов семенной массы, дифференциацией кинетических показателей семян.

Анализируя результаты вычисления рациональных значений глубины резкости для различных значений фокусного расстояния и значения диафрагмы и сопоставляя полученные значения глубины резкости ΔL с реальными максимальными размерами объектов сортировки (семенами пшеницы) R_{\max} , которые не превышают 8 мм, можно сделать вывод, что при выбранных значениях фокусного расстояния и диафрагменного числа значение глубины резкости ΔL соответствует неравенству (2.38). Из этого можно сделать вывод, что рациональные значения фокусного расстояния объектива 8 мм, 16 мм, 25 мм обеспечивают требуемую резкость изображения в пределах от 8,55 до 247,8 мм и позволяют получить качественное изображение анализируемого объекта.

Разрешение матрицы оптического блока установки для анализа и сортировки семян. Одним из важнейших параметров, влияющих на

эффективность и качество проводимого цветового анализа объектов матричного оптико-электронного устройства для сортировки семян является разрешением. Распознавание и идентификация любого объекта сводятся к анализу точек его изображения, формируемого на матрице оптического блока. Из этого можно сделать вывод, что чем больше разрешение матрицы, тем больше деталей и элементов объекта можно исследовать, в особенности для семян, размер которых составляет от 0,3 до 1,2 мм в ширину и от 3,2 до 8 мм в длину [50, 53].

Но стоит принять во внимание тот факт, что фотокамеры с матрицами больших разрешений экономически дороже аналогов с более низким разрешением. Также увеличение разрешения ведет к увеличению времени на обработку изображения из-за большего числа анализируемых точек. Наиболее рациональным решением данной проблемы является расчет и выбор минимально необходимого количества пикселей матрицы, при котором эффективность, экономичность и быстродействие оптико-электронной установки будут сбалансированными.

В ходе анализа методик расчета оптико-электронных систем было установлено, что для идентификации какого-либо элемента объекта (семени) требуется, чтобы этот элемент занимал на матрице, как минимум, 1024 пикселей [70]. Учитывая, что это минимальная граница для получения оптимального разрешения, используем определенное количество пикселей N_x на объект, как показано на рисунке 2.16.

В оптико-электронных сепараторах семенного материала зачастую применяются линейные приемники оптического излучения (оптические блоки), которые набирают строки матрицы до определенного предела, поэтому для определения оптимального разрешения необходимо определять количество пикселей вдоль рабочей зоны анализа N_m . Это количество можно определить по формуле [55]:

$$N_m = N_x \times \frac{A_d}{d_{min}}, \quad (2.26)$$

где A_d – размеры зоны анализа объекта, м; d_{min} – минимальный размер (диаметр) объекта анализа, м.

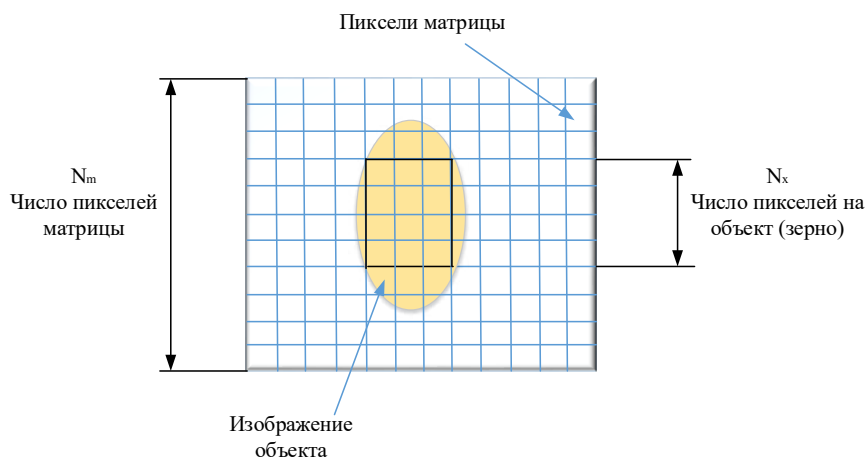


Рисунок 2.16. Изображение, отображаемое на матрице оптического блока

Если же сортировка производится на основании идентификации селективного параметра, расположенного в определенной области зоны анализа i , то формула (2.26) приобретет следующий вид [58]:

$$N_m = N_x \times i \times \frac{A_d}{d_{min}}, \quad (2.27)$$

Согласно проведенному анализу научной литературы по классификации болезней зерновых, для выделения селективного критерия количество выделяемых зон на семени должно быть не менее 3. Минимальный размер (диаметр) объекта анализа для семян пшеницы можно принять равным 1 мм. Принимая во внимание данные условия, а также используя результаты определения рациональных значений размера зоны анализа, приведенные в таблице 2.4, произведем расчет необходимого количества пикселей на матрице. Результаты заносим в таблицу 2.5.

Таблица 2.5. Результаты вычисления рациональных значений количества пикселей на матрице

№	1	2	3	4	5
A_d , м	0,5	0,45	0,4	0,35	0,3
N_m , шт	$1,54 \times 10^6$	$1,38 \times 10^6$	$1,23 \times 10^6$	$1,08 \times 10^6$	$9,22 \times 10^5$

Проведя анализ полученных данных, установлено, что при выбранных рациональных значениях размера зоны анализа, необходима матрица с разрешением не менее 1,54 Мп. Таким образом, можно утверждать, что для установки в оптико-электронное устройство для сортировки семян подходит любая матричная промышленная фотокамера с разрешением выше 2,3 Мп.

Быстродействие оптического блока (время выдержки изображения). Следующим важным критерием работы матрицы является ее быстродействие, другими словами количество кадров в секунду, которые выбранная матрица может получать и передавать в аналитический блок для дальнейшего цветового анализа. Если оптический блок будет иметь низкое быстродействие, то в этом случае увеличивается вероятность возникновения ошибок в алгоритме работы и понижение эффективности процесса сортировки [69, 71].

Как уже было сказано в большинстве современных оптико-электронных сепараторах используются фотокамеры с линейными матрицами с высотой в несколько пикселей, поэтому индикация потока семенного материала будет другой. Изображения анализируемых объектов будут сжатыми процесс определения контура семян будет нарушен, в результате чего будут вычисляться не соответствующие действительности геометрические размеры и форма зерен (рисунок 2.17).

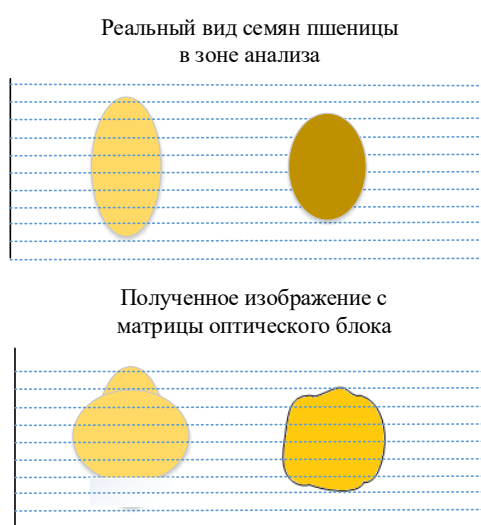


Рисунок 2.17. Пример искажения изображения семян в рабочей зоне анализа в результате низкого быстродействия матрицы оптического блока

Все современные промышленные оптические устройства машинного зрения обладают определенным промежутком времени считывания, в течение которого происходит завершение процесса накопления оптического сигнала. Таким образом можно утверждать, что изображения анализируемых объектов с любых фотокамер будут иметь пропуски [89]. Для устранения данной проблемы определять требуемую частоту кадров оптического блока будем определять при условии, что геометрические размеры семян вдоль вектора их перемещения намного больше размера зоны, которую они смогут преодолеть за установленное время получения изображения с матрицы.

Рассчитаем суммарное время, потраченное на получение одного кадра по формуле [71]:

$$t_k = t_э + t_{сч} , \quad (2.28)$$

где t_k – полное время для получения 1 кадра, с; $t_э$ – выдержка, в течение которого происходит экспонирование изображения на матрицу, с; $t_{сч}$ – время передачи (считывания) изображения с матрицы, с.

С учетом вышеописанных допущений выдержка изображения должна быть много больше времени его считывания с матрицы $t_э \gg t_{сч}$. Тогда из выражения (2.28) получаем:

$$t_k \approx t_э , \quad (2.29)$$

Определение времени экспонирования предполагает, что уже известны следующие параметры: скорость движения семян v , м/с; размеры зоны анализа объекта A_d , м; размеры матрицы фотокамеры по ширине L_x и длине L_y , м.

Ширина зоны анализа семян определяется конструктивными особенностями установки, скорость подачи семян в рабочую зону анализа регулируется микроконтроллером посредством скорости транспортера. Для дальнейшего расчета необходимо определить путь S_y , который зерно проходит за время экспонирования. Для этого воспользуемся формулами для определения параметров оптических систем [71]:

$$M = \frac{L_x}{A_d} , \quad (2.30)$$

$$S = \frac{L_y}{M}, \quad (2.31)$$

Согласно законам механики, получаем:

$$t_э = \frac{S}{v}, \quad (2.32)$$

Подставим выражения (2.30) и (2.31) в выражение (2.32) и получаем:

$$t_э = \frac{A_d \times L_y}{L_x \times v}, \quad (2.33)$$

Данный параметр выбирается при настройке оптико-электронного устройства для сортировки семян и непосредственно зависит от вида сортируемой культуры и выбранной производительности установки. Так, например для фотосепаратора производительностью 1000 кг/ч, средняя скорость движения семян пшеницы согласно экспериментальным исследованиям, составляет 5 м/с. Используя рациональные значения параметров размера зоны анализа, а также размеров матрицы в 5 Мп (2592×1944), полученные в предыдущих разделах диссертации, рассчитаем время выдержки и результаты занесем в таблицу 2.6.

Таблица 2.6. Результаты вычисления времени выдержки, в течение которого происходит экспонирование изображения на матрицу

№	1	2	3	4	5	Среднее
A _d , м	0,5	0,45	0,4	0,35	0,3	0,4
t _э , с	0,075	0,0675	0,06	0,0525	0,045	0,06

Таким образом, проводя анализ полученных данных, среднее время выдержки при сортировке семян пшеницы оптико-электронными устройствами, в течение которого происходит экспонирование изображения на матрицу составляет 0,06 с. Данное время позволяет не только получить качественное изображение анализируемого объекта, но и позволяет отправить его на аналитический блок для принятия решения о принадлежности семени к той или иной группе согласно заданным селективным критериям.

2.4. Выводы

1. Был проведен анализ факторов и критериев, определяющих эффективность и точность разделения семенного материала по цвету, в том числе, влияние на процесс сепарации как внутренних технических элементов оптико-электронной установки отдельных конструктивных элементов сепаратора (системы подачи объектов, блоков освещения и получения изображения), так и параметров самих семян.

2. Предложена методика определения геометрических размеров и форм семян на основе преобразований Фурье по полученному изображению, а также проанализированы наиболее распространенные виды форм семян пшеницы в зависимости от сорта и условий произрастания. Также приведен алгоритм определения окраски анализируемых объектов (семян), в котором за основу берется отношение отраженного светового потока к падающему. Согласно расчетам, выполненным по заданному алгоритму, возможно получение селективного критерия для дальнейшего разделения семенного материала на группы.

3. Была разработана математическая модель физических параметров семян, определяющая посевные качества и селективные признаки семенного материала при селекционной работе. Предложенная модель основывается на определении геометрических и цветовых параметров 5 областей поверхности семян. В целях повышения эффективности и точности сортировки зерновой массы было предложено при проведении цветового анализа изображения выделять на поверхности семян 3 основных области: центральную, верхнюю и нижнюю. При возникновении неопределенностей в определении критериев сортировки возможно выделение и анализ 2 дополнительных боковых областей. Для каждой из областей, согласно математической модели, рассчитывается селективный параметр, определяющий качество семени. Анализ цветовых характеристик производится с помощью определения вектора градиента цвета в выбранной области из HSV цветовой модели, когда

спектральные характеристики заданной поверхности представляются в виде цветового тона, насыщенности и яркости. 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.

4. 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. Так, в ходе расчета было установлено, что для получения качественного изображения анализируемого объекта необходимо использовать объективы со следующими рациональными значениями фокусного расстояния F : 8 мм, 16 мм, 25 мм.

Представлен расчет диапазона резкости объектива, который позволяет получить четкое изображение без дефектов и размытия фона. В ходе расчета было установлено, что выбранные значения фокусного расстояния и углового поля зрения обеспечивают требуемую резкость изображения в пределах от 8,55 до 247,8 мм.

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. Расчет показал, что для получения качественного изображения анализируемого объекта необходима матрица с разрешением не менее 1,54 Мп. Приведенный расчет разрешения и быстродействия оптического блока позволяет выбрать оптическое оборудование с рациональными параметрами для осуществления высокоточного и быстрого анализа объектов.

3. МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ СОРТИРОВКИ СЕМЯН ПШЕНИЦЫ

3.1 Теоретическое обоснование параметров и режимов работы оптико-электронной установки для сортировки семенного материала по заданным селективным критериям

На основании условий, определяющих эффективность работы оптико-электронного устройства для анализа и сортировки семенного материала, в главе 2 настоящей диссертации были составлены математические выражения, определяющие параметры и режимы работы установки. Объединим полученные математические выражения в итоговую схему, определяющую методику выбора элементов оптико-электронного сепаратора для разделения семенного материала на группы, которая приведена на рисунке 3.1.

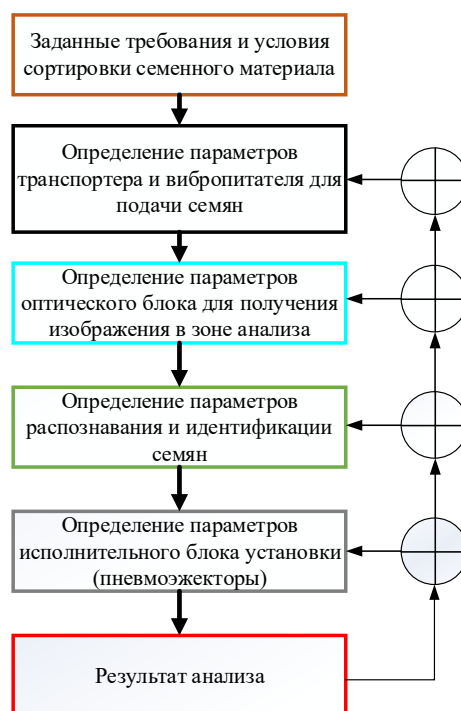


Рисунок 3.1. Структурная схема расчета параметров и режимов работы оптико-электронного сепаратора семенного материала

Полученная модель способна последовательно рассчитать параметры и режимы работы оптико-электронной установки для цветового анализа и разделения семенного материала для решения конкретных задач сортировки семян различных сельскохозяйственных культур. Также с ее помощью по установленным параметрам можно осуществить выбор необходимых конструктивных элементов для построения установки [51, 70]. Если при заданных параметрах на одном из этапов модели возникают противоречия, не позволяющие подобрать требуемые элементы установки, в этом случае происходит автоматический возврат на более ранние этапы математического расчета для корректировки заданных параметров или изменения выбранных ранее элементов.

Подробно раскроем и опишем разработанную схему построения оптико-электронного программно-аппаратного комплекса для сортировки семенного материала на рисунках 3.2, 3.3 и 3.4.

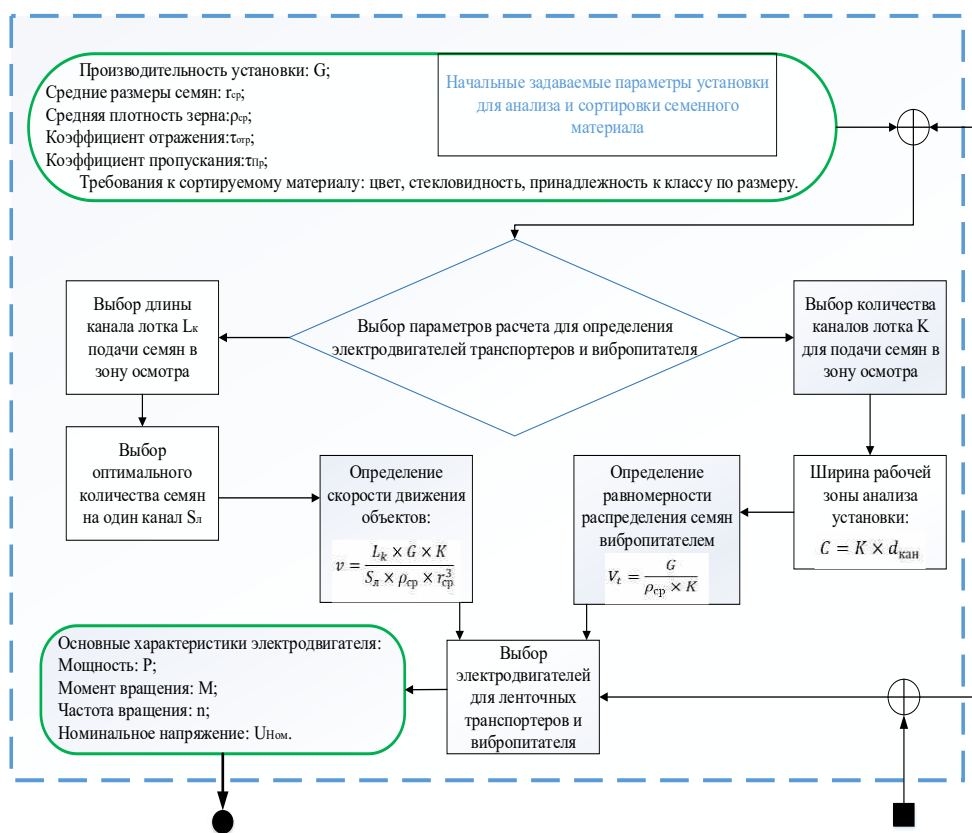


Рисунок 3.2. Схема расчета параметров и выбора режимов работы оптико-электронной установки для цветового анализа и сортировки семенного материала

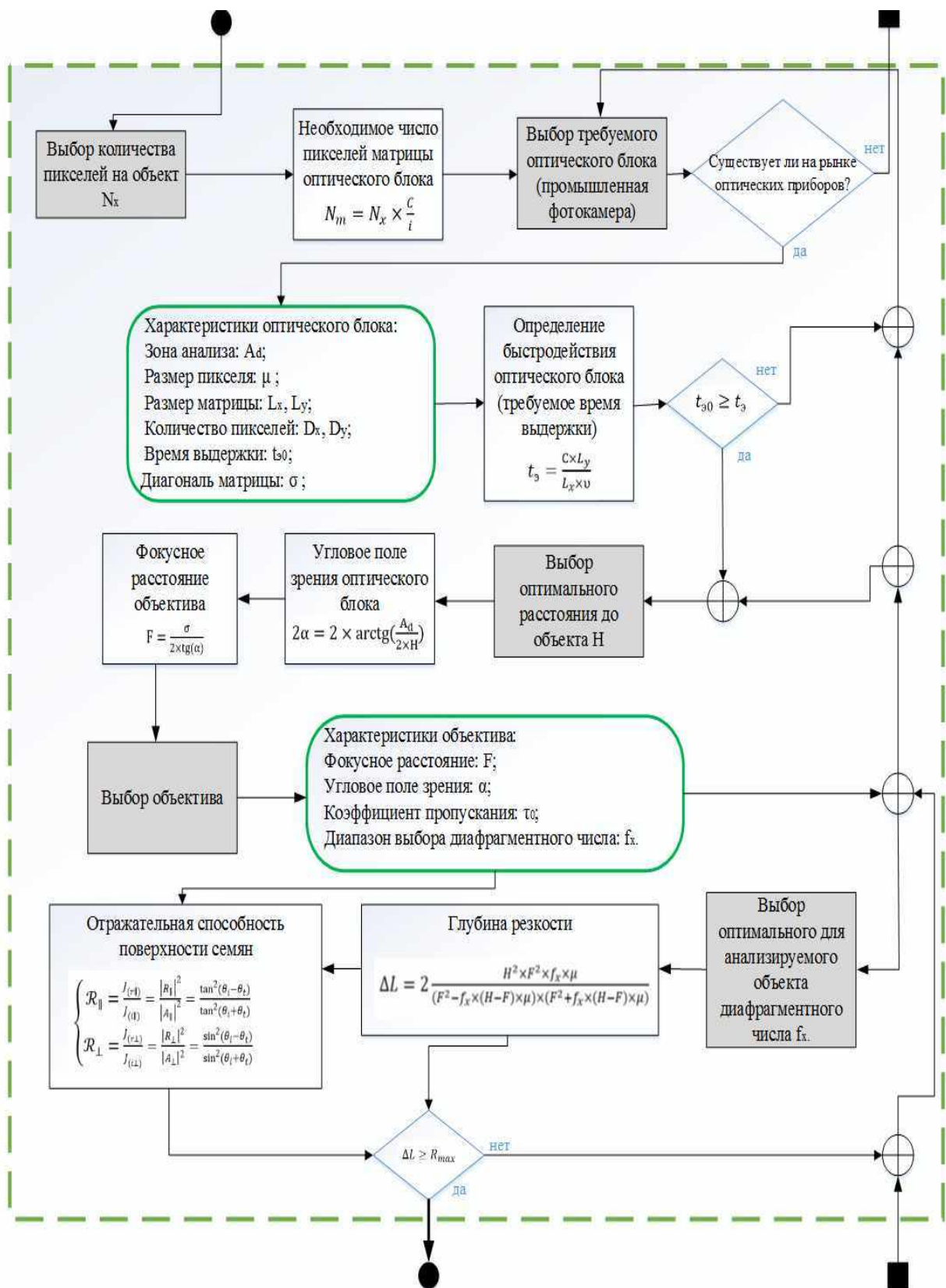


Рисунок 3.3. Схема расчета параметров и выбора режимов работы оптико-электронной установки для цветового анализа и сортировки семенного материала (продолжение)

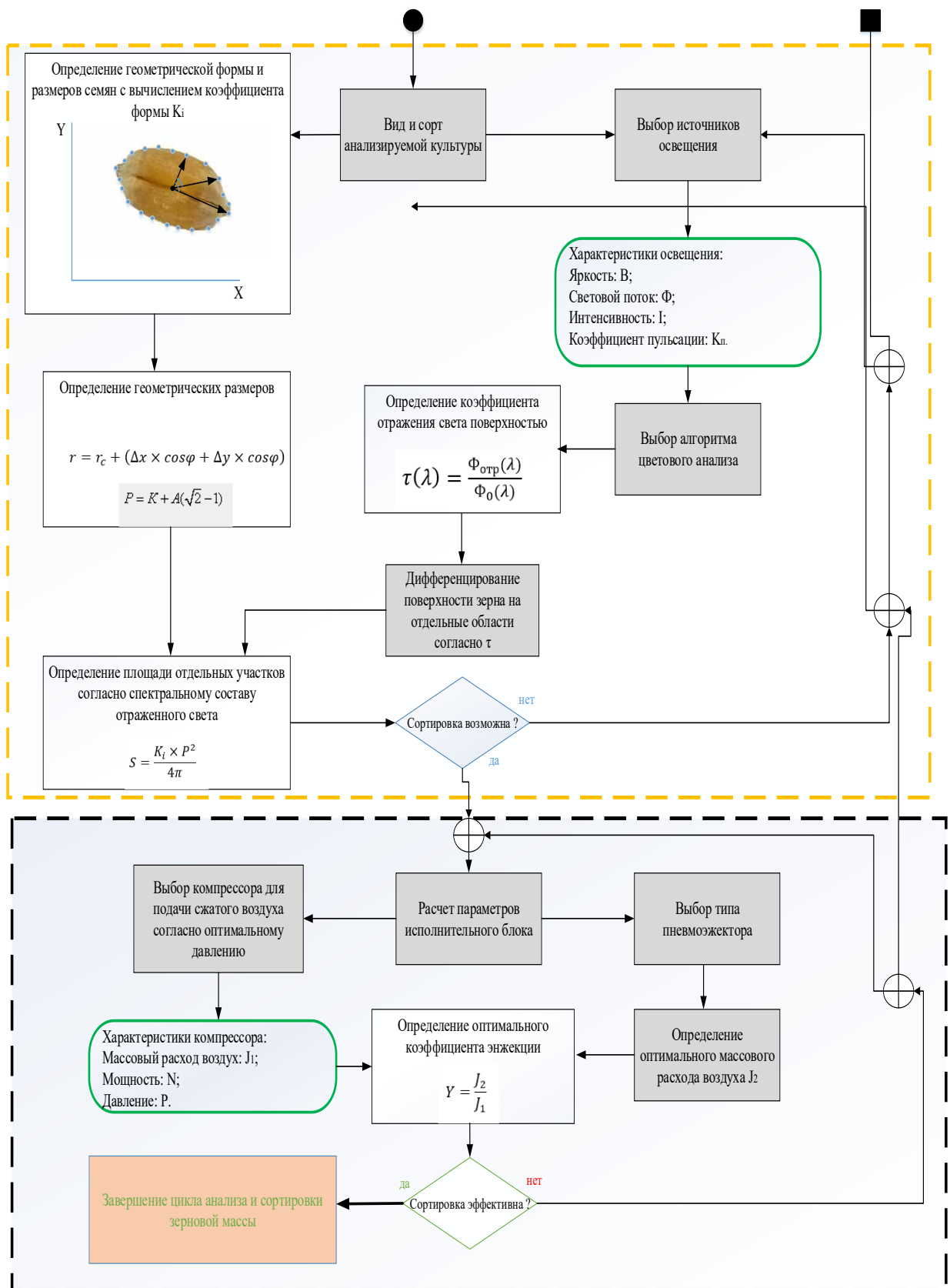


Рисунок 3.4. Схема расчета параметров и выбора режимов работы оптико-электронной установки для цветового анализа и сортировки семенного материала (продолжение)

Раскроем принцип построения предложенной схемы расчета параметров и режимов работы установки. Зерновая масса представляем собой материал, состоящий преимущественно из семян одной культуры и определённого сорта, для которых известны их геометрические, кинетические, цветовые и оптические свойства. На первом этапе обязательно задается производительность установки (в т/ч) для достижения экономической эффективности применения оптико-электронной установки.

В соответствии со свойствами семенного материала, по схеме на рисунке 3.1, первым этапом идет определение и расчет основных параметров транспортной системы и вибропитателя для подачи семян в зону анализа сепаратора. Следующим этапом является расчет параметров оптического блока установки: требуемое разрешение матрицы, ее быстродействие. В результате этого расчета выбирается подходящая фотокамера для осуществления машинного зрения. Если же по рассчитанным на данном этапе значениям не удалось сделать выбор необходимого оптического оборудования, то необходимо произвести возврат к этапу корректировки значений для расчета параметров оптического блока или даже к начальному этапу расчета установки.

Когда выбран оптический блок установки, по его характеристикам производится выбор параметров объектива и расчет особенностей распространения световых лучей в рабочей зоне анализа. На данном этапе также учитывается отражательная и пропускательная способность семян, а также угол наклона камеры, которые влияют на качество получаемого изображения. В том случае, если по рассчитанным параметрам не удалось выбрать оптимальный объектив с требуемыми параметрами захвата светового потока, то производится возврат к корректировке расстояния до анализируемого объекта или на более ранние этапы.

На следующем этапе выбирается значение диафрагменного числа из доступных для выбранного объектива, и рассчитывается глубина резкости. Если в результате была получена недостаточная глубина резкости,

осуществляется возврат на стадию выбора диафрагменного числа или на более ранние стадии.

После этого производится расчет и определение алгоритмов анализа и идентификации семян, которые лягут в основу программного обеспечения для управления работой установки. Для этого в зависимости от требований, предъявляемых к установке, выбираются методы обработки изображения и идентификации анализируемого объекта. Также определяется возможность выполнения цветового анализа, который происходит посредством определения спектральных составляющих поверхности семян, определения соотношения областей с различными оттенками.

На завершающем этапе построения схемы установки происходит определение параметров исполнительной системы отбраковки (пневмоэжекторов) дефектных объектов (семян) согласно результатам работы аналитического блока. Семена является живым материалом, поэтому при отбраковке важно не повредить их и не уменьшить энергию всхожести для получения высокого урожая.

Согласно проведенному анализу научно-технической литературы и патентной базы фотосепараторов для сортировки семян в 1 главе и в соответствии с разработанной математической моделью установки во 2 главе, согласно схеме расчета параметров и выбора режимов работы оптико-электронных устройств для сортировки семенного материала, необходимо разработать схему и алгоритм работы оптико-электронной установки для анализа и идентификации фитопатологий зерновых. Для этого рассмотрим схемы оптико-электронных сепараторов, существующие в настоящее время, и выберем необходимую установку, на базе которой можно разработать и создать эффективную установку для высокоточного анализа и сортировки семян различных сельскохозяйственных культур [51, 74].

В результате патентного поиска и анализа существующих оптико-электронных устройств для сортировки сельскохозяйственной продукции, были подобраны установки, которые обладают требуемыми характеристиками

и параметрами для проведения экспериментального исследования по сортировке семенного материала согласно заданным селективным критериям. Данный анализ литературы и патентный поиск подробно описан в научных статьях [37, 38].

Наиболее подходящей для осуществления эффективного процесса анализа и идентификации фитопатологий зерновых является установка для экспресс-анализа семян люцерны, описанная в диссертации на соискание степени кандидата наук Лебедева Д. В. [32, 33] Технологическая схема представленной установки включает бункер с принудительной подачей семян на вибрирующую рабочую поверхность, с которой семена подаются на подающий электромагнитный барабан, который обеспечивает поштучную подачу семян в зону осмотра через равные промежутки времени [54, 75].

Основными недостатками вышеописанной установки является отсутствие высокоточного исполнительного блока для отбраковки семян, то, что оптический блок позволяет установке получать только бинарные изображения семян, которые в полной мере не позволяют осуществить качественный анализ семян на предмет наличия фитопатологий и отсутствие фона в рабочей зоне анализа объектов.

Устранить данные недостатки возможно посредством использования осветительных элементов с фоновыми экранами согласно вышеописанному патенту RU2403100, а в качестве исполнительного блока отбраковки семян используем пневмоэжекторы для подачи сжатого воздуха от компрессора согласно патенту RU2607537. В качестве оптического блока согласно расчетам оптической системы, приведенным во 2 главе диссертации, используем современные высокоточные полихроматические фотокамеры с линейной матрицей типа BASLER SCOUT [58, 80], которая позволяет получать качественные изображения даже таких небольших по размерам объектов, как семена люцерны, пшеницы, кукурузы, льна.

В результате произведенной модернизации установки для экспресс-анализа люцерны, мы получаем установку для высокоточного анализа,

сортировки семян различных сельскохозяйственных культур, технологическая схема которой приведена на рисунке 3.5, таблица с обозначением элементов приведена в таблице 3.1.

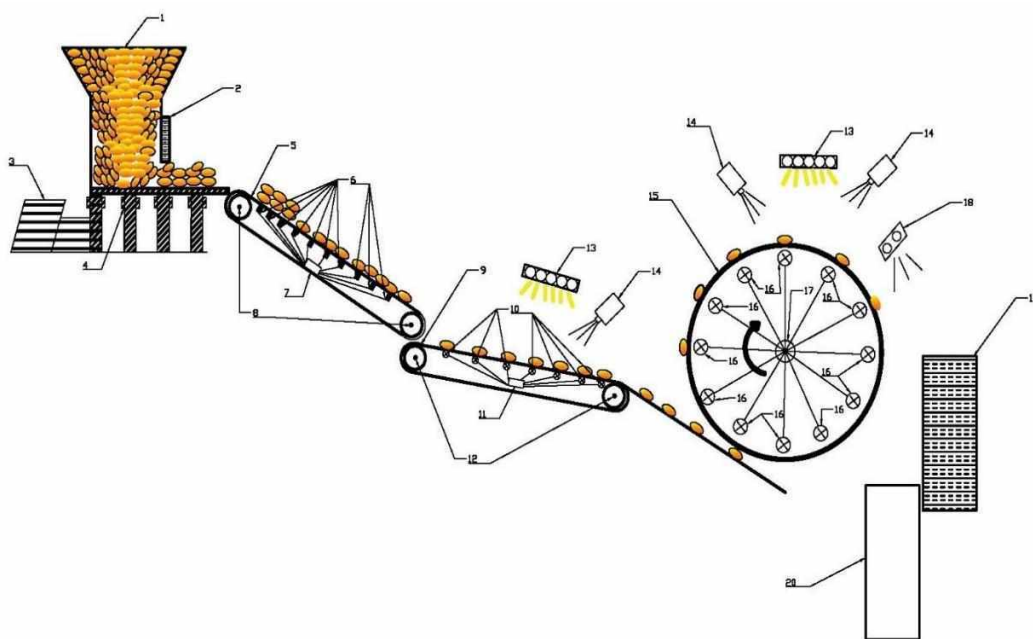


Рисунок 3.5. Технологическая схема опико-электронной установки для сортировки семенного материала согласно заданным селективным критериям

Таблица 3.1. Перечень элементов опико-электронной установки для экспресс-анализа и сортировки семян зерновых культур.

№	Наименование элемента	№	Наименование элемента
1	Бункер с зерном	11	Блок управления электродами подающего транспортера
2	Электрозадвижка	12	Электропривод электромагнитного подающего транспортера
3	Электрический привод вибропитателя	13	Источник освещения
4	Секции вибропитателя	14	Оптический блок (фотокамера)
5	Вибрационный транспортер	15	Электромагнитный подающий барабан
6	Секции вибрационного транспортера	16	Электроды подающего барабана
7	Блок управления вибрационным транспортером	17	Блок управления электродами подающего барабана
8	Электропривод вибрационного транспортера	18	Исполнительный блок (пневмоэжектор)
9	Электромагнитный подающий транспортер	19	Бункер с отбракованным зерном
10	Электроды подающего транспортера	20	Бункер с кондиционным зерном

С использованием схемы расчета параметров работы оптико-электронной установки для цветового анализа и сортировки семенного материала, приведенной на рисунках 3.2-3.4, а также с учетом требований, предъявляемых к семенному материалу в селекционных центрах, которые были рассмотрены в главе 1 настоящей диссертации, были выбраны рациональные параметры экспериментального программно-аппаратного комплекса, которые представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2. Рациональные параметры экспериментальной оптико-электронной установки для сортировки семенного материала по заданным селективным критериям

№	Параметр	Выбранное рациональное значение
Блок подачи семенного материала в зону анализа		
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
Электромагнитный барабан		
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
Оптический блок		
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
Исполнительный блок отбраковки семенного материала		
20.	Количество пневмоэжекторов, шт	360
21.	Расход воздуха, л/мин	≤3000

Разработанный мной программно-аппаратный комплекс способен работать в 2 автоматических режимах: 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.

Управление работой оптико-электронной установки для сортировки семенного материала осуществляется с помощью программного обеспечения, установленного и настроенного на персональном компьютере, который подключается к микроконтроллеру установки по интерфейсу RJ-45 «Ethernet». Во всех представленных режимах работы установки предусмотрено самообучение посредством обновления представленных баз данных селективных критериев семян различных культур. Самообучение относится к способности алгоритмов искусственного интеллекта анализировать данные и выявлять закономерности без явного программирования для этого. Самообучение является критически важным компонентом разработанного программно-аппаратного комплекса, поскольку оно позволяет установке постоянно улучшать свою производительность и точность распознавания семенного материала.

Предложенное изобретение осуществляет экспресс-анализ и разделение зерновой смеси в 4 этапа:

1. Отделение механических примесей и вороха от основной зерновой массы происходит на вибрационном транспортере 5. Также данный транспортер обеспечивает равномерное распределение семян в один слой.

2. Поштучная подача зерна в зону анализа обеспечивается электромагнитным подающим транспортером 9. Принцип действия подающего транспортера основан на явлении поляризации и ориентировании мелких семян в электрическом поле. Также на нем проводится захват оптическим блоком первичного изображения анализируемых объектов (семян) в зоне осмотра.

3. На данном этапе происходит переориентация семени с целью получения трехмерной модели анализируемого объекта (зерна). Осуществляется это с помощью электромагнитного барабана 15, который захватывает семена сортируемой культуры и перемещает их в зону анализа, где захватывается изображение обратной стороны семени, не сфотографированной на 2 этапе экспресс-анализа. Семена других культур отделяются на этапе подачи массы на электромагнитный барабан. Обеспечивается это тем, что электромагнитное поле, создаваемое парами электродов на поверхности барабана, притягивает только семена сортируемой культуры, потому что электрические параметры электродов подбираются строго под определенные форму и размер семян [37, 59].

4. На данном этапе осуществляется сортировка поврежденных семян и семян, пораженных фитопатологиями, согласно заданному алгоритму работы установки. Разделение зерновой массы на группы согласно заданным селективным критериям осуществляется с помощью исполнительного блока 18, который состоит из компрессора, осуществляющего подачу сжатого воздуха и пневмоэжекторов, осуществляющих точную и быструю сепарацию семян по бункерам.

Рассмотрим принцип работы оптико-электронной установки для экспресс-анализа и сортировки семян зерновых культур. Зерно из бункера 1 при открытии электроздвижки 2 и вибропитателя 3 подается на вибрационный транспортер 5. На данном конвейере осуществляется разделение зерновой массы от механических примесей и вороха при помощи вибрационных секций 6, управляемых блоком управления 7. Для этого плоскость, по которой движется зерновая масса, выполняется решетчатой. Также важной функцией вибрационного транспортера является распределение семян в один слой для обеспечения точного анализа и разделения семян на группы согласно заданным критериям. Скорость движения семян по транспортеру выбирается согласно виду и сорту сортируемой культуры и регулируется при помощи электропривода 8.

Далее зерно попадает на электрмагнитный подающий транспортер 9. Особенностью данного конвейера является наличие под плоскостью движения семян электродов 10, на которые подается напряжение, согласно управляющему сигналу блока 11. Напряжение выбирается согласно виду и сорту сортируемой культуры. Так как семена обладают мембранным потенциалом, то согласно закону Кулона, они притягиваются к поверхности транспортера, что обеспечивает поштучную подачу семян в зону анализа. Для обеспечения высокой производительности установки подающий транспортер разделен на каналы, по которым двигаются семена. Данный конвейер подает зерно в зону анализа, которая освещается при помощи источников света 13.

Захват изображения в зоне анализа осуществляется с помощью промышленных высокоскоростных фотокамер высокого разрешения 14. Полученное изображение передается в аналитический блок (компьютер), на котором программное обеспечение согласно заданному алгоритму цветового анализа объектов проводит предварительную оценку семян [37, 44].

Следующим этапом работы оптико-электронной установки является подача семян на электромагнитный барабан 15. Он оснащен электродами 16, на которые подается напряжение, согласно управляющему сигналу блока 17. Принцип действия подающего барабана основан на явлении поляризации и ориентировании мелких семян в электромагнитном поле. Напряжение выбирается согласно виду и сорту сортируемой культуры, поэтому семена, которые относятся к другой культуре отбраковываются в бункер 19. Для изоляции электродов и создания белого фона, обеспечивающего наиболее контрастные очертания семян для видеокамеры, барабан покрывают тонкой изолирующей пленкой белого цвета.

На барабане происходит изменение положения семени на 180° в целях получения трехмерной модели анализируемого объекта. Барабан вращается с определенной скоростью, которая регулируется программным обеспечением согласно показаниям датчиков положения, движения, запыленности, а также виду и сорту сортируемой культуры. Таким образом семена подаются во

вторую зону анализа, где происходит захват изображения обратной стороны семени, которое передается на аналитический блок, который с учетом первичного изображения, полученного на электромагнитном транспортере, создает трехмерную модель семени для дальнейшего анализа [37, 93].

После этого происходит процесс цветового анализа полученной модели с идентификацией объекта по расчетным параметрам и селективным критериям, указанным в программе для определенной сортируемой культуры. В результате проведенного анализа программа выдает результат, к какой группе относится семя и передает сигнал на исполнительный блок 18. Оптимальные условия срабатывания пневмоэжекторов для разделения материала в начале свободного падения выбираются автоматически путем компьютерного моделирования траектории свободного падения материала после схода его с барабана при разных скоростях вращения барабана. Выбирают оптимальную точку сортировки семенного материала при выбранных скоростях вращения электромагнитного барабана. В выбранной точке, по ходу свободного падения сортируемых объектов, срабатывают пневмоэжекторы, сдувая отбракованные семена в бункер с некондиционным материалом 19. В противном случае семя продолжает движение по барабану и попадает в бункер с кондиционным зерном 20.

Данное изобретение позволяет существенно увеличить эффективность анализа и сортировки семян сельскохозяйственных культур за счет того, что электромагнитное поле электродов барабана рассчитано на семена определенных культур. Поэтому данная установка позволяет отбраковывать семена других культур и механические примеси [52, 69].

Отличительными признаками заявляемого устройства являются выполнение заданных алгоритмов распознавания семян, а именно выполнение многокритериальной оценки семян сельскохозяйственных культур по признаку наличия болезней, семян других культур и механических примесей [37, 72].

Полученные результаты анализа изображения семян сохраняются и распознаются по заданным критериям в статистическом блоке, выводятся на экран, затем информация от аналитического блока подается на контроллер, который управляет работой основных элементов установки – барабаном и эжекторами для отбраковки некондиционных семян. Обработка данных и работа программы может осуществляться на любом современном компьютере.

Для конструирования и изготовления оптико-электронной установки для сортировки семенного материала, согласно заданным селективным критериям, была разработана принципиальная схема, которая описана в научных работах [37, 38].

В основе работы оптико-электронной установки для сортировки семян различных сельскохозяйственных культур лежит методика идентификации, анализа и распознавания семени по заданным селективным критериям. Данная методика основан на методе Виолы-Джонса [74], который предполагает выполнение установкой следующих операций: интегральное представление изображения объекта анализа; обработка, улучшение и обрезка изображения; использование признаков Хаара для поиска ключевых и дополнительных областей семени, селективные параметры которых будут оцениваться; определение цветовых и геометрических параметров заданных областей; классификация объектов анализа согласно каскадам признаков, определяемых из базы данных параметров семян сортируемой сельскохозяйственной культуры.

Данная методика заложена в программном обеспечении компьютера, который подает управляющие сигналы на микроконтроллер, а тот в свою очередь управляет базовыми элементами оптико-электронной установки для сортировки семян.

3.2 Разработка алгоритма работы оптико-электронной установки для сортировки семенного материала

Немаловажную роль в функционировании любой оптико-электронной установки играет алгоритм работы, определяющий основные параметры и режимы работы установки, от которых напрямую зависит скорость и эффективность проведения разделения семенного материала на группы [72]. Поэтому при разработке метода и установки для сортировки семенного материала важной целью является разработка алгоритма работы установки, который позволит проводить качественный анализ семян и позволит установить рациональные параметры и режимы работы устройства.

В результате анализа патентной базы и в соответствии с математической моделью цветового анализа оптико-электронной установки, разработанной во 2 главе настоящей диссертации, был разработан алгоритм цветового анализа и распознавания анализируемых объектов, который способен обеспечить рациональные параметры и режимы работы устройства в соответствии с видом сортируемой сельскохозяйственной культуры.

Разработанный мной алгоритм работы оптико-электронной установки для анализа и идентификации фитопатологий зерновых, в частности семян пшеницы, состоит из 3 основных блоков: подача объектов в зону анализа, непосредственно сам анализ (получение изображения оптическим блоком и его обработка программным методом), блок отбраковки материала.

Алгоритм сортировки семенного материала на группы, согласно рассчитанным селективным критериям, состоит из 2 основных частей:

1. Семена других культур и механические примеси отделяются на этапе подачи массы на электромагнитный барабан. Обеспечивается это тем, что электромагнитное поле, создаваемое парами электродов на поверхности барабана, притягивает только семена сортируемой культуры, потому что электрические и геометрические параметры электродов подбираются строго под определенные форму и размер семян.

2. Поврежденные семена отбраковываются на этапе распознавания семян в аналитическом блоке. Происходит это за счет алгоритма по определению геометрических форм и размеров по бинарному изображению.

Сортировка семян на предмет поражения фитопатологиями происходит благодаря работе аналитического блока, который анализирует цветное изображение семени в зоне сканирования. Блок на основе данных, занесенных в него, определяет площадь множества цветных областей семени и в соответствии с базой данных выдается результат — какого качества анализируемое семя. Алгоритм работы электромагнитного барабана устанавливается также в соответствие с видом сортируемой культуры. В зависимости от параметров сортируемого семенного материала выбирается напряжение, подаваемое на электроды барабана, за счет чего зерно посредством электромагнитного поля закрепляется на его поверхности. Также в соответствие с заданными параметрами семян выбираются и регулируются минимальная и номинальная скорость вращения барабана. Контроль за нахождением семян на барабане осуществляют датчики положения, связанные с микроконтроллером. Когда анализируемый объект достигает зоны анализа, в программу подается сигнал от датчика и через установленное время анализа аналитический блок сравнивает сигналы от датчиков положения и от оптического блока получения изображения, после чего принимает решение о снятии напряжения с электрода соответствующего порядка, удерживающего анализируемый объект.

На втором этапе алгоритма работы установки происходит получение изображения анализируемого объекта (семени) заранее настроенным оптическим блоком (фотокамерой) с учетом параметров, рассчитанных в главе 2 настоящей диссертации. После этого происходит процесс анализа полученного изображения с идентификацией объекта по расчетным параметрам, указанным в программе для определенной сортируемой культуры. Структурная схема данного цветового анализа семени представлена на рисунке 3.6. Таким образом в рабочей зоне установки происходит анализ

спектральных характеристик объектов, полученных как в отраженном, так и в проходящем световых потоках.

Для выполнения этого за выбранный программным обеспечением интервал времени, изменяют скорость движения барабана, например, уменьшают ее. Это необходимо для получения более качественного изображения в зоне анализа и для эффективной работы исполнительного блока установки. Оптимальные условия срабатывания пневмоэжекторов для разделения материала в начале свободного падения выбираются автоматически путем компьютерного моделирования траектории свободного падения материала после схода его с барабана при разных скоростях вращения барабана [58, 90].

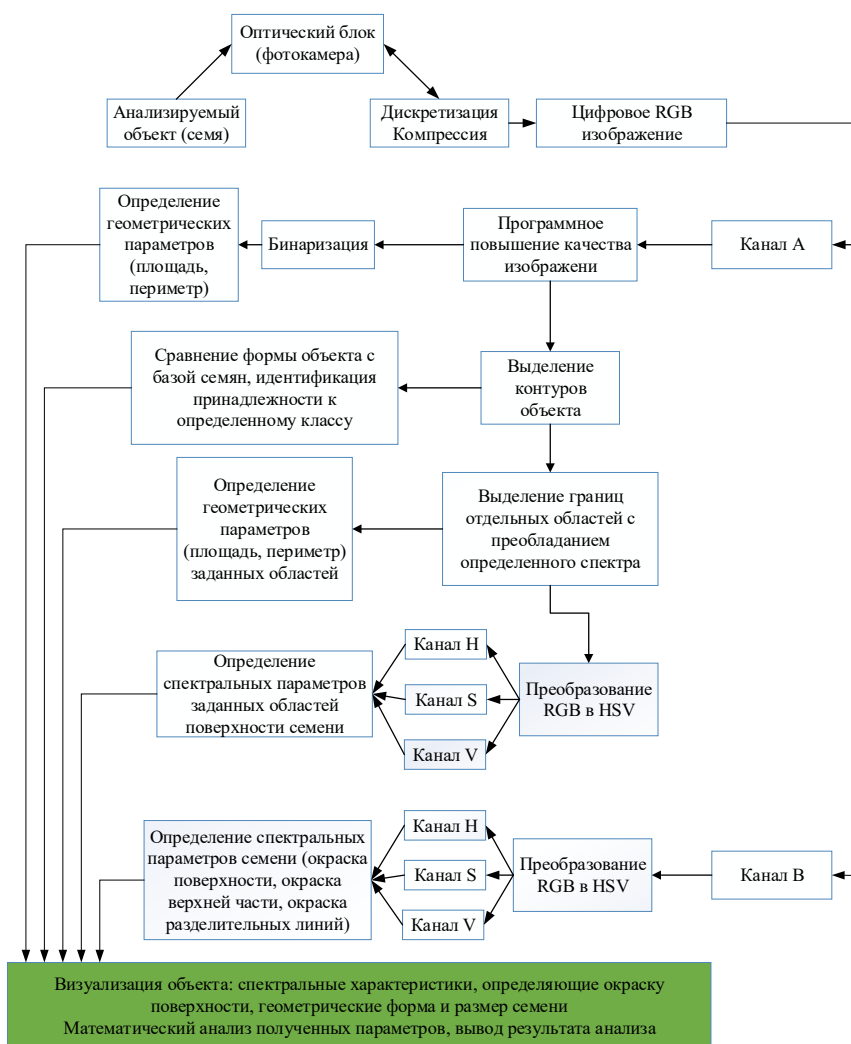


Рисунок 3.6. Структурная схема алгоритма проведения цветового анализа семян на наличие фитопатологий опико-электронной установкой

В зависимости от сортируемой культуры и сорта часть потока семян формируют и отбирают, например, при меньшей угловой скорости барабана, а другую часть сортируемого семенного материала при большей скорости в связи с разными массогабаритными параметрами семян разных культур. За счет этого обеспечиваются разные расчетные траектории свободного падения анализируемых объектов и условия их сортировки в свободном падении.

3.3 Методика проведения экспериментальных исследований оптико-электронной установки для сортировки семенного материала

В результате анализа научно-технической литературы, патентной базы существующих оптико-электронных устройств для анализа и сортировки сельскохозяйственной продукции был разработан программно-аппаратный комплекс для анализа и сортировки семян различных сельскохозяйственных культур. В основе данного комплекса лежит оптико-электронная установка для сортировки семян, а также уникальный алгоритм цветового анализа изображения зерна в рабочей зоне установки.

Оптико-электронная установка для определения рациональных параметров и режимов сортировки семян различных сельскохозяйственных культур была сконструирована на кафедре физики Кубанского ГАУ согласно принципиальной и технологической схемами, представленными и описанными в главе 3 настоящей диссертации. Общий вид установки спереди и сбоку представлен на рисунке 3.7 (а и б соответственно).

Для построения установки использовались наработки, принципы и методы, описанные в работах таких ведущих ученых в области сортировки и анализа сельскохозяйственной продукции, как Судник Ю. А., Тарушкин В.И., Башилов А.М., Беляков М.В., Барышев Д.Д., Лебедев Д.В [5, 6, 7, 8, 33]. Основными элементами данной установки являются:

- транспортеры для подачи зерна в зону анализа;

- электромагнитный барабан для обеспечения поштучной подачи семян в зону анализа;
- оптические датчики для обеспечения автоматического контроля технологическим процессом сортировки зерна;
- промышленная фотокамера для получения изображения анализируемых объектов (семян) в рабочей зоне анализа;



а)



б)

Рисунок 3.7. Фотографии оптико-электронной установки для анализа и сортировки сельскохозяйственных культур, разработанной в Кубанском ГАУ

Использование оборудования с низким показателем защищенности от попадания твердых предметов и пыли подразумевает на регулярной основе проведение работ по очистке этого оборудования. А в случае повышенной загрязненности в помещении возможен преждевременный, не попадающий под гарантийные обязательства, выход оборудования из строя. При этом стоит отметить, что далеко не все оборудование имеет возможность для очистки. Если же защита от попадания твердых предметов минимальна или отсутствует вовсе, то это увеличивает риск попадания всякого рода посторонних объектов (рабочих инструментов, металлических гаек, болтов и т.д.) и поломки оборудования [56, 81].

Именно поэтому вышеперечисленные базовые элементы оптико-электронной установки для анализа и сортировки семян, а также программируемый логический контроллер и блоки для автоматического

управления установкой заключены в специальный изолированный в корпус с целью защиты от внешнего воздействия и попадания пыли и влаги на управляющие элементы установки.

Одним из основных элементов оптико-электронной установки для анализа и сортировки семян является подающий электромагнитный барабан, который обеспечивает поштучную подачу семян в зону осмотра через равные промежутки времени. Общий вид электромагнитного барабана представлен на рисунке 3.8. На внешней стороне барабана установлены электроды, создающие электромагнитное поле, удерживающее семена на его поверхности. Вращение барабана обеспечивается электродвигателем, скорость которого регулируется микроконтроллером. Позиционирование семян осуществляется с помощью фотоэлектронных датчиков и фотокамеры, которые при монтаже фотосепаратора устанавливаются над барабаном.



а)



б)

а) вид сверху б) вид сбоку

Рисунок 3.8. Фотографии электромагнитного барабана для поштучной подачи семян в зону анализа

Управление параметрами и режимами работы оптико-электронной установки осуществляется посредством персонального компьютера (аналитического блока), который подключен к программируемому логическому контроллеру по интерфейсу RJ-45 «Ethernet», а он в свою очередь подает управляющие сигналы на базовые элементы установки. Примерный вид панели управления фотосепаратором представлен на рисунке 3.9.

Программная часть установки, загруженная на компьютер, включает в себя программное обеспечение для настройки оборудования, а также базу данных анализируемых семян, которая позволяет осуществлять разделение семенного материала на группы согласно заданным селективным критериям с достаточно высокой точностью. Особенностью программного обеспечения является то, что в нем предусмотрено обновление заданной базы данных семян и самообучаемость установки для повышения точности и скорости сортировки.



Рисунок 3.9. Изображение панели управления оптико-электронной установкой для анализа и сортировки семян

Результатом работы установки является разделение семенного материала на группы, которые по специальным лоткам (рис. 3.10) идут либо в бункер с кондиционным зерном, либо в бункер с зерном, для которого необходимо провести повторную сепарацию или дополнительную обработку.



Рисунок 3.10. Изображение лотков для распределения зерна по бункерам

В основе работы оптико-электронной установки лежит уникальный алгоритм цветового анализа изображения семян, позволяющий осуществлять эффективное разделение семенного материала на группы согласно заданным селективным параметрам.

Главной задачей, решаемой при проведении анализа изображения в аналитическом блоке оптико-электронной установки, является нахождение пространства значимых селективных критериев, которые находятся во взаимодействии исходными входными оптическими данными и, при необходимости производится его сегментация для выделения отдельных областей, определяющих качества сортируемого семенного материала. Наиболее подходящими в определении и вычислении признаками являются яркость и окраска анализируемого объекта [92, 96]. Окраска является важным параметром объекта, способным содержать в себе множество признаков для классификации объектов.

Наиболее простым и удобным пространством для цветового анализа объекта является одномерное яркостное пространство изображения. Объясняется это тем, что для большинства изображений контрастная чувствительность остается постоянной во всем диапазоне яркостей, что позволяет математически анализировать модуль дифференциации яркостей отдельных участков объекта. Однако стоит учесть, что признаки цвета несут дополнительную информацию [79, 95].

В пикселях полутоновых цифровых изображений сохраняется единственная величина – это интенсивность (или уровень серого), в то время как каждый пиксель цветного изображения содержит три значения интенсивности в соответствии с трехкомпонентной теорией цвета. Разработаны и применяются различные виды цветовых пространств, включая аппаратно-ориентированные, пространства, ориентированные на визуальное восприятие человека, или ориентированные на инструментальное использование в полиграфии. RGB-цветовое пространство хорошо

согласуется со способом фиксации изображения цифровой камерой и конструкцией цветных дисплеев [97].

Два других наиболее распространенных цветовых пространства – это HSL (цветовой тон, насыщенность, светлота) и HSV (цветовой тон, насыщенность, яркость), в которых приняты цилиндрические координаты. Однако хотя координата H пространства HSL(V) отвечает за оттенок цвета, она плохо коррелирует с оценками, выполненными экспертами, которые, как правило, ориентируются на спектральные цвета [20, 95].

Процесс анализа и идентификации объекта (семени) по полученному изображению является сложной и составной процедурой, состоящей из множества этапов. После передачи изображения с оптического на аналитический блок (компьютер с программным обеспечением) происходит его улучшение, оцифровка, обрезка, кластеризация. Уже после проведенных операций осуществляется основной заключительный этап получения параметров семян для определения признаков классификации данного объекта к какой-либо из групп. Структурная схема работы распознающей системы приведена на рисунке 3.11.

Как видно из приведенной схемы, важное место в анализе изображения занимают операции по его обработке: выравнивание и центрирование, цветокоррекция, обрезка, очистка от мусора и лишних деталей.

Выравнивание и центрирование полученного изображения объекта применяется в оптико-электронных сепараторах семенного материала потому, что при попадании зерна в рабочую зону анализа оно может занять любое положение в заданной системе координат, но для эффективного распознавания требуется строгое расположение объекта по одной из осей координат. Таким образом, объект соединяется с началом заданной системы координат и облегчает задачу нахождения центра объекта.

Обрезка и очистка изображения от мусора и лишних деталей необходимы для упрощения работы аналитического блока. После удаления с изображения лишних точек не происходит процесс определения ложных точек

построения контура объекта, в результате чего мы получаем реальный, а не искаженный контур анализируемого семени [62, 86].

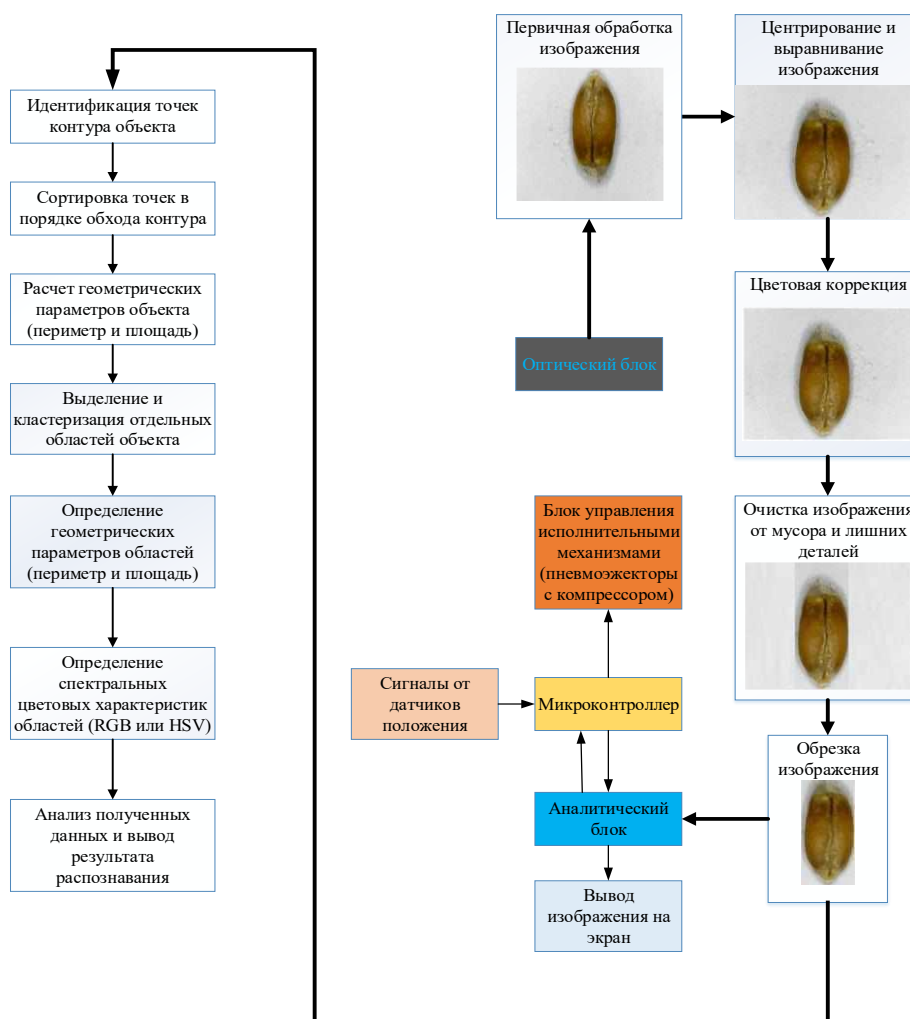


Рисунок 3.11. Структурная схема распознающей системы опико-электронной установки для анализа и идентификации семенного материала

Цветокоррекция — это изменение определенных тонов пикселей, их насыщенности и оттенков в целях получения требуемого для анализа качества [73]. В случае с оптическим устройством для сортировки семенного материала данная операция не нарушает передачу нужных оттенков поверхности зерна, а лишь убирает лишние тени и позволяет передать точный цвет. Именно поэтому она применяется для улучшения изображения.

После проведенных операций улучшения изображения, оно передается для анализа в аналитический блок, где проходит ряд операций по идентификации заданного объекта. Первым этапом идет процесс

идентификации точек контура, в результате чего определяется геометрическая форма семени. Следующим этапом идет вычисление геометрических параметров (площадь и периметра) объекта в соответствии с математическими выражениями, приведенными во 2 главе настоящей диссертации. После выполнения данной операции мы можем составить признак классификации объекта, позволяющий разделить семена какой-либо культуры от механических примесей (камни, стебли, ворох).

Для повышения точности сортировки семенного материала и решения проблем присутствия в нем семян других культур, в том числе сорных, рационально будет использовать в качестве селективных критериев разделения зерна группы не только геометрические форму и размер, но и цветовые параметры поверхности семян. Именно поэтому в разработанном мной алгоритме работы оптико-электронной установки для сортировки семян применяется цветовой анализ изображения зерна. Как было установлено во 2 главе, цветовой анализ позволяет не только выявить фитопатологии зерновых на ранних этапах их развития, но и дает возможность разделять семена, схожие по размерам, но принадлежащие разным культурам и сортам.

В предлагаемой оптико-электронной установке предусмотрено использование двух режимов работы: режим повышенной производительности, при котором распознавание семян осуществляется по бинарному изображению в градациях серого цвета; режим сортировки с повышенной точностью определения фитопатологий и семян схожих культур, при котором распознавание семян осуществляется по цветному изображению.

Так как современные персональные компьютеры обладают достаточными вычислительными мощностями для выполнения множества параллельных операций, то во время работы оптико-электронного комплекса для экспресс-анализа семян процесс цветового анализа изображения анализируемого объекта протекает параллельно с обработкой бинарного изображения в градациях серого цвета. Это позволяет значительно сократить время обработки изображения и повысить производительность установки.

Стоит учитывать, что описанный цветовой анализ и применяемые методы корреляции и преобразования Фурье для идентификации семян, справедливы для семян пшеницы и кукурузы, потому что в программное обеспечение установки были внесены базы данных семян пшеницы сорта «Безостая-100», «Тимирязевка 150», рис сорта «Кубань 3», ячменя сорта «Добрыня 3» и кукурузы сорта «Ладожский 292». Использование разработанной методики цветового анализа возможно и с другими культурами, но для этого необходима подготовка баз данных, содержащих параметры различных групп сортируемой продукции.

3.4 Результаты экспериментального исследования оптико-электронной установки для сортировки семенного материала по заданным селективным критериям

Проведем экспериментальные исследования эффективности применения вышеописанной методики. Для подтверждения данной методики необходимо определение соотношений площадей и цветовых параметров, зараженных болезнью и «здоровых», не подверженных фитопатологиям семян. Для эксперимента возьмем 2 сорта пшеница Безостая-100 и Тимирязевка-150, которые подвержены таким фитопатологиям, как фузариоз, септориоз и головня. Далее установим цветовые параметры, которые позволят выделить селективные признаки разделения семенного материала на группы оптико-электронной установкой для анализа и идентификации зерна.

Согласно предлагаемой методике к цветовым параметрам поверхности анализируемых семян отнесем следующие цветовые характеристики:

- насыщенность желтого цвета в центральной области и его соответствие стандартным эталонным значениям (от белого до коричневого);
- цветовой тон поверхности в нижней и верхней областях (от белого до коричневого), определяющих признаки фитопатологий;

- соотношение насыщенностей желтого и коричневого либо белого цвета в дополнительных областях, определяющих признаки фитопатологий.

Исследования проводились на изображениях семян, полученных с помощью изготовленной оптико-электронной установки с использованием специализированного программного обеспечения. Принцип ее работы основан на определении цветовой характеристики выделенной области изображения. Она в автоматическом режиме определяет значения цветовых параметров каждого пикселя, входящего в область анализа, а в дальнейшем выводит среднее расчетное значение, которое и используется в качестве цветовой характеристики заданной области поверхности зерна [34, 98].

Стоит отметить, что, согласно данному цветовому формату, параметры H и S измеряются в градусах, определяя угол поворота радиус-вектора, описывающего цвет, а параметр V безразмерная величина, определяющая глубину цвета. В этом случае, чтобы правильно определить реальное значение желтого цвета поверхности семян, необходимо определять все параметры H , S и V . Проанализировав состояния параметров желтого цвета при изменении каждой функции формата HSV, мы получаем количественную оценку для идентификации фитопатологий зерновых.

Рассмотрим экспериментальное исследование для подтверждения предлагаемой методике определения параметров распознавания семян по признаку наличия фитопатологий. В качестве экспериментальных образцов для определения цветовых параметров поверхности семян HSV были выбраны 2 партии семян пшеницы сорта Безостая-100 и Тимирязевка-150 по 100 шт. каждая. В каждой партии присутствовали 10 кондиционных семян, не пораженных болезнями и проверенных на наличие фитопатологий в лаборатории с помощью метода питательных сред. Также в этих зерновых группах были выбраны в лаборатории с помощью фитопатологической экспертизы 10 семян, пораженных различными фитопатологиями.

В качестве анализируемых болезней были выбраны фузариоз и септориоз, потому что согласно исследованиям в области защиты растений,

при поражении семян фузариозом цветовые параметры изменяются и уходят в высокие значения по наличию белой спектральной составляющей отраженного от поверхности семян светового потока. Также и при септориозе происходит изменение цветовых параметров поверхности семян, при которых параметры HSV приближаются к коричневой окраске [21, 98]. Следующим этапом является проведение экспериментального исследования выделенных партий семян при помощи цветового анализа изображений, полученных с помощью лабораторного цифрового микроскопа, обеспечивающего требуемые параметры анализа в соответствии с оптическим блоком разработанной оптико-электронной установки для анализа и сортировки семян. Схема эксперимента была следующая:

Согласно предлагаемой методике, эксперимент проходил в 2 этапа:

1. На полученном изображении анализируемого объекта(зерна) выделялась центральная область, соответствующая геометрическому центру тяжести, и производилось определение 2 основных цветовых параметров H и S, определяющих цветовой тон и насыщенность цвета в заданной области. Данный выбор обусловлен тем, что большинство изменений окраски поверхности затрагивают центральные части зерна. Далее эти параметры сравнивались с аналогичными параметрами не зараженных семян и семян с соответствующими фитопатологиями. Согласно проведенному сравнению, отмечались номера тех семян, чьи параметры попадали в соответствующие диапазоны цветовых параметров кондиционных и зараженных семян. Но в целях повышения эффективности и точности разделения семенного материала на группы все семена проходили следующие этапы анализа.

2. Следующим этапом производится выделение верхней и нижней областей объекта и осуществляется определение 2 основных цветовых параметров H и S, определяющих цветовой тон и насыщенность цвета в заданных областях. Далее эти параметры сравнивались с аналогичными параметрами не зараженных семян и семян с соответствующими фитопатологиями. Согласно проведенному сравнению, отмечались номера тех

семян, чьи параметры попадали в соответствующие диапазоны цветовых параметров кондиционных и зараженных семян. Это связано с тем, что в нижней части семян расположен зародыш, а в верхней части находится хохолок с будущими стеблями.

Также определяется площадь каждой из этих областей, затем они суммируются и определяется их отношение к площади центральной зоны для определения необходимого селективного критерия и вычисления градиента цвета выделенной области. В результате мы получаем итоговую таблицу с разделением семян по группам. Для подтверждения полученных итоговых результатов необходимо произвести фитопатологический анализ семенного материала в специализированной лаборатории, что и было произведено.

Результаты проведенных экспериментальных исследований приведены в таблицах в приложении 6. В целях визуализации в приведенных таблицах цветом выделены: красным—группа семян с выявленными фитопатологиями, зеленым—группа кондиционных семян высшего класса, не пораженных болезнями, синим—эталонные семена с фитопатологиями, желтым—эталонные семена без фитопатологий.

Из полученных результатов экспериментального исследования селективного критерия K_1 семян пшеницы сорта Безостая-100 видно, что эталонным кондиционным не пораженным фитопатологией семенам соответствует диапазон (31,33; 41,68) цветовых параметров H и V . Для эталонных семян, пораженных септориозом диапазон цветовых параметров H и V (21,25; 43,30), а для семян, пораженных фузариозом (30,13; 37,20). Как видим из полученных диапазонов у семян, пораженных фитопатологиями меньшая насыщенность и цветовой тон поверхности. Далее согласно определенным диапазонам, разделяем оставшиеся семена партии на 2 группы: «здоровые» и зараженные болезнями. Данные по сепарации приведены в таблице в виде цветов ячейки (красный— зараженные болезнями, зеленый— «здоровые»).

Из полученных результатов экспериментального исследования селективного критерия K_1 семян пшеницы сорта Тимирязевка-150 видно, что эталонным кондиционным не пораженным фитопатологией семенам соответствует диапазон (41,63; 47,89) цветовых параметров H и V . Для эталонных семян, пораженных септориозом и фузариозом диапазон цветовых параметров H и V (242,7; 344,28). Как видим из полученных диапазонов у семян, пораженных фитопатологиями повышенное значение цветового параметра H и пониженное значение параметра S . Далее согласно определенным диапазонам, разделяем оставшиеся семена партии на 2 группы: «здоровые» и зараженные болезнями. Данные по сепарации приведены в таблице в виде цветов ячейки (красный– зараженные болезнями, зеленый– «здоровые»).

Из полученных результатов экспериментального исследования селективных критериев K_2 и K_3 семян пшеницы сорта Безостая-100, что эталонным кондиционным не пораженным фитопатологией семенам соответствует диапазон (41,26; 50,69) цветовых параметров H и V . Для эталонных семян, пораженных септориозом и фузариозом диапазон цветовых параметров H и V (11,16; 35,36). Как видим из полученных диапазонов у семян, пораженных фитопатологиями меньшая насыщенность и цветовой тон поверхности. Далее согласно определенным диапазонам, разделяем оставшиеся семена партии на 2 группы: «здоровые» и зараженные болезнями. Данные по сепарации приведены в таблице в виде цветов ячейки (красный– зараженные болезнями, зеленый– «здоровые»). Анализируя полученные коэффициенты значимости цветовой площади, можно выделить семена, которые должны пройти третий дополнительный этап анализа.

Также в приложении 6 содержатся результаты 2 этапа эксперимента для семян пшеницы сорта Тимирязевка-150. Из полученных результатов экспериментального исследования селективных критериев K_2 и K_3 семян кукурузы видно, что эталонным кондиционным не пораженным фитопатологией семенам соответствует диапазон (36,73; 43,91) цветовых

параметров H и V. Для эталонных семян, пораженных септориозом и фузариозом диапазон цветовых параметров H и V (11,20; 28,64). Как видим из полученных диапазонов у семян, пораженных фитопатологиями меньшая насыщенность и цветовой тон поверхности и значительно меньшее значение, чем на предыдущем этапе. Далее согласно определенным диапазонам, разделяем оставшиеся семена партии на 2 группы: «здоровые» и зараженные болезнями. Данные по сепарации приведены в таблице в виде цветов ячейки (красный– зараженные болезнями, зеленый–«здоровые»). Анализируя полученные селективные критерии для 3 основных областей, можно выделить семена, которые должны пройти третий дополнительный этап анализа.

На данном этапе в анализируемую партию семян пшеницы попали только 2 эталонных зерна, поэтому оценка качества зерна проводилась по их значениям. Из таблицы видно, что кондиционное зерно имеет среднее значение цветового параметра H и высокое значение параметра S, а пораженное фитопатологией семя имеет большое значение параметра H и малое значение параметра S. Опираясь на полученные данные, выполняем разделение партии семенного материала на 2 группы по аналогии с предыдущими этапами и результаты отображаем в таблице.

Из итоговых таблиц видно, что согласно экспериментальному исследованию по определению фитопатологий зерновых с помощью распознавания изображения семенного материала и определения цветовых параметров HSV, были получены следующие результаты.

Из экспериментальной партии 100 семян пшеницы сорта Безостая-100 с учетом 10 эталонных «здоровых» и 10 эталонных зараженных семян были выявлены следующие группы: 36 семян, пораженных фитопатологиями (фузариоз и септориоз) и 64 кондиционных семян, не пораженных фитопатологиями и которые можно использовать в производственных нуждах без дополнительной обработки.

Из экспериментальной партии 100 семян пшеницы сорта Тимирязевка-150 с учетом 10 эталонных «здоровых» и 10 эталонных зараженных семян

были выявлены следующие группы: 38 семян, пораженных фитопатологиями (фузариоз и септориоз) и 62 кондиционных семян, не пораженных фитопатологиями и которые можно использовать в производственных нуждах без дополнительной обработки.

Для подтверждения достаточной эффективности и точности предлагаемой методики данные партии семян были отправлены на фитопатологическую экспертизу методом питательных сред в лабораторию. В ходе проведения лабораторного анализа данного семенного материала было установлено:

1. В партии пшеницы сорта Безостая-100 из 36 некондиционных зерен, определенных цветовым анализом изображения, фитопатологии были обнаружены у 35 семян. Таким образом погрешность предлагаемого метода в данном случае составляет 2,7%. Из 64 кондиционных зерен, определенных цветовым анализом изображения, фитопатологии были обнаружены у 1 семени. Так, погрешность предлагаемого метода в данном случае составляет 1,5%. Исходя из этого суммарная погрешность при цветовом анализе семян пшеницы составляет 4,2%, а точность разделения на отдельные группы – 95,8%.

2. В партии пшеницы сорта Тимирязевка-150 из 38 некондиционных зерен, определенных цветовым анализом изображения, фитопатологии были обнаружены у 37 семян. Таким образом погрешность предлагаемого метода в данном случае составляет 2,6%. Из 62 кондиционных зерен, определенных цветовым анализом изображения, фитопатологии не были обнаружены. Таким образом суммарная погрешность при цветовом анализе семян кукурузы составляет 2,6%, а точность разделения на отдельные группы – 97,4%.

Из проведенных исследований можно сделать вывод, что предлагаемое оптико-электронное устройство для сортировки семенного материала способно осуществлять эффективное разделение на отдельные группы семена различных культур и сортов с достаточно большой точностью. Таким образом определенные в настоящей главе цветовые параметры семян успешно можно

использовать в оптико-электронных установках при получении селективных признаков разделения семенного материала на группы по культуре, сорту, наличию фитопатологий.

Согласно поставленным задачам исследования проведем сопоставление экспериментального исследования точности и производительности оптико-электронной установки для сортировки семян пшеницы с теоретической математической моделью селективных параметров разделения семенного материала на группы. Для этого была использована оптико-электронная установка для сортировки семенного материала, схема и алгоритм работы которой были приведены в предыдущих разделах данной главы настоящей диссертации. Экспериментальные исследования точности определения селективных критериев осуществлялись с использованием методики планирования экспериментов.

Для этого было произведено опробирование оптико-электронной установки по выделению селективных критериев, определяющих основные показатели качества семенного материала. Экспериментальное исследование проводилось на кафедре физики Кубанского ГАУ при отсортировке семян таких сельскохозяйственных культур, как пшеница, рис, ячмень, кукуруза. Результаты проведенного исследования представлены в виде графиков распределения пяти селективных критериев выделенных областей для 1000 семян различных размеров и сельскохозяйственных культур, которые приведены на рисунках 3.12-3.16.

Чтобы определить погрешности в определении селективных критериев выделенных областей поверхности семени пшеницы воспользуемся методикой расчета случайных погрешностей прямых многократных измерений для варианта определения трех основных селективных критериев семян пшеницы сорта Безостая 100, в основе которой лежит закон нормального распределения случайных величин Гаусса. Согласно этой методике для оценки точности измерений и возникающих неточностей необходимо для каждого из цветовых параметров построить график плотности

распределения погрешностей согласно каноническим формулам математического анализа [82]. Результаты проведенных вычислений представлены в приложении 8.

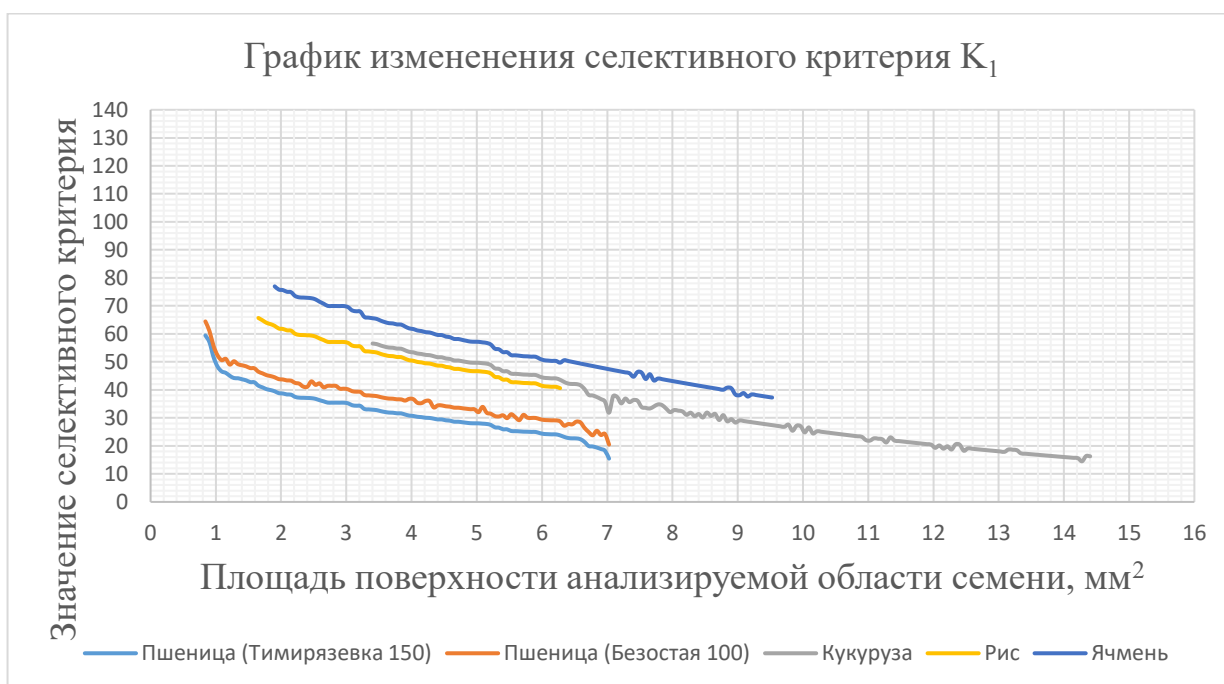


Рисунок 3.12. Экспериментальный график зависимости селективного критерия K_1 центральной области от площади анализируемой поверхности

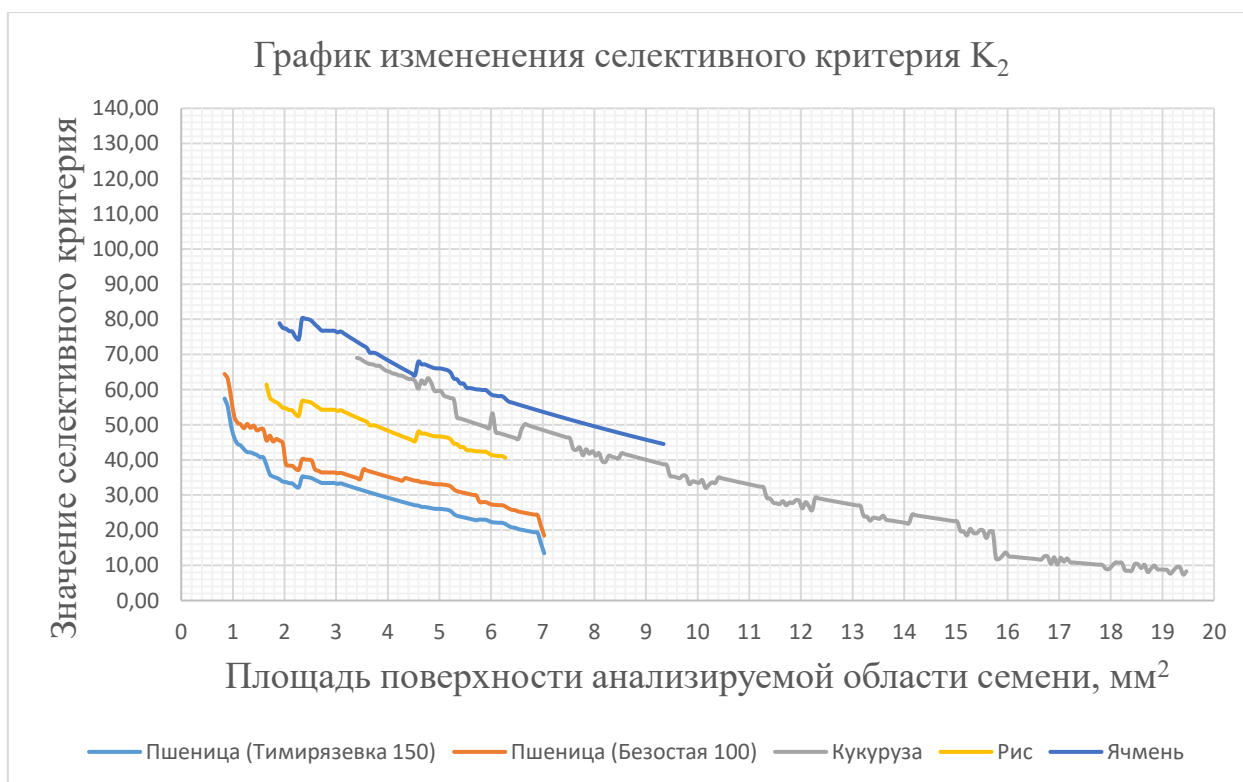


Рисунок 3.13. Экспериментальный график зависимости селективного критерия K_2 верхней области от площади анализируемой поверхности

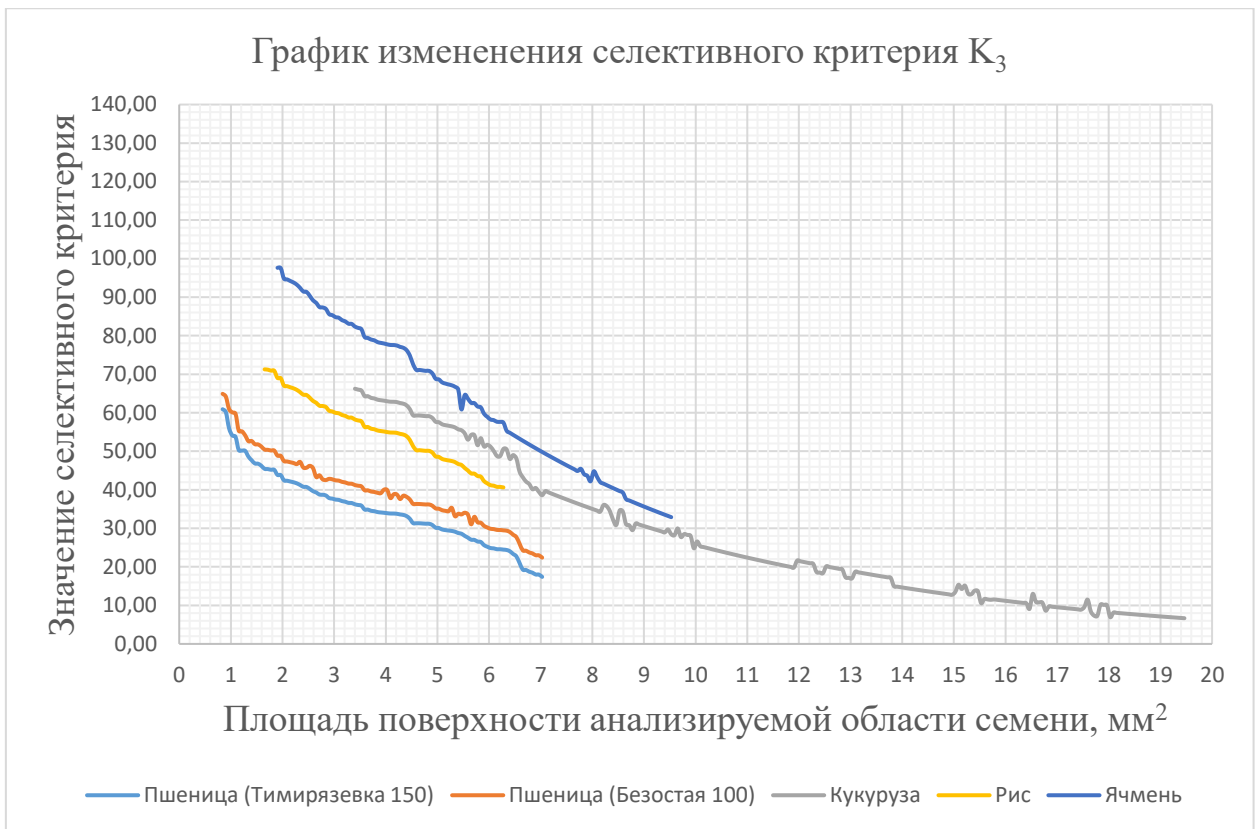


Рисунок 3.14. Экспериментальный график зависимости селективного критерия K_3 нижней области от площади анализируемой поверхности

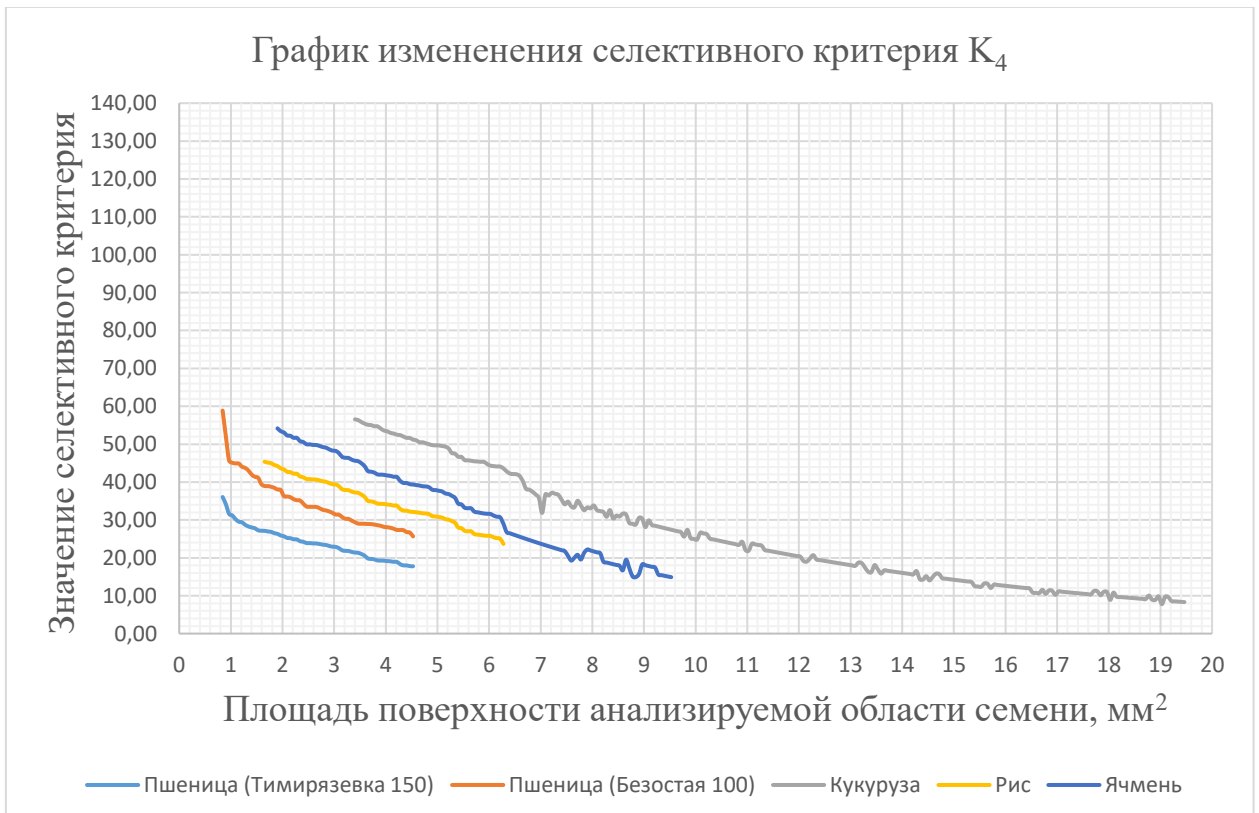


Рисунок 3.15. Экспериментальный график зависимости селективного критерия K_4 правой области от площади анализируемой поверхности

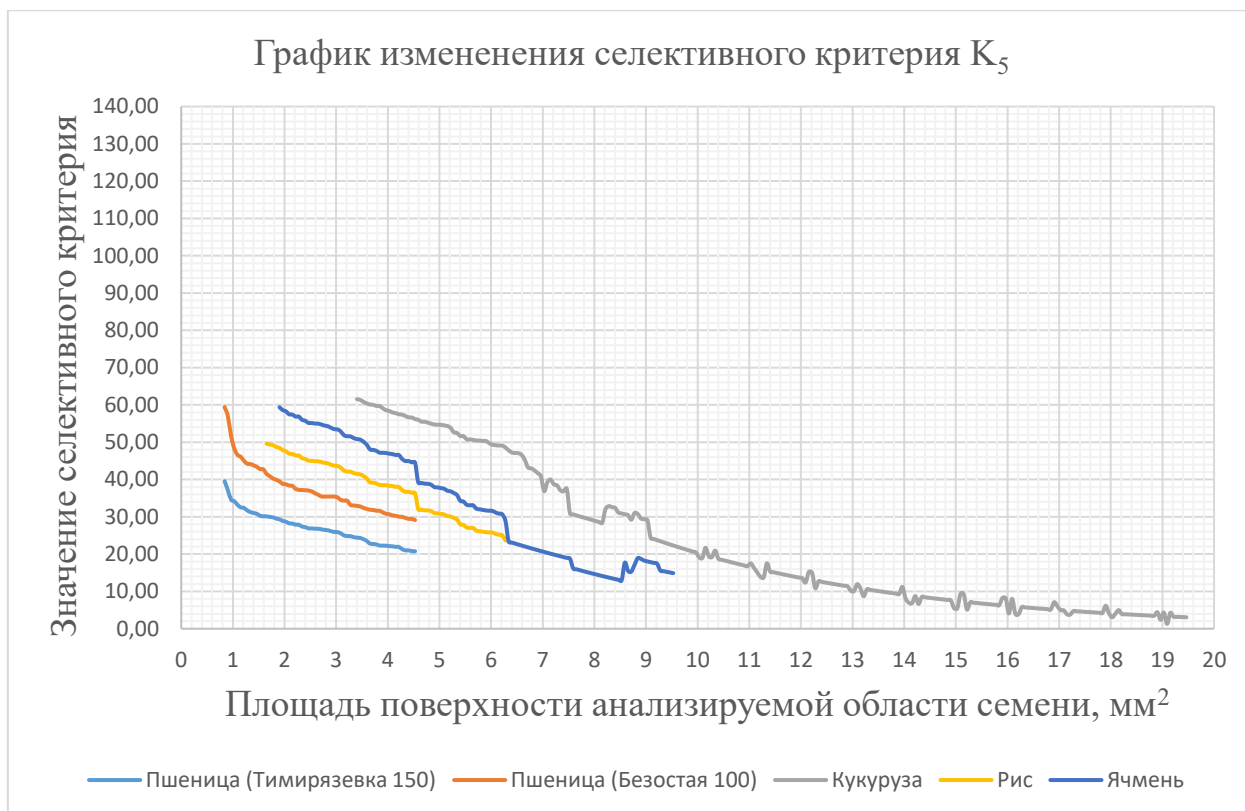


Рисунок 3.16. Экспериментальный график зависимости селективного критерия K_5 левой области от площади анализируемой поверхности

Также для определения закона распределения случайных величин необходим расчет математического ожидания, которое можно определить при наличии ряда распределения вероятностей случайных величин. Для построения этого ряда необходимо определить вероятности определения программой того или иного параметра в соответствующих диапазонах. Далее вычисляется значение математического ожидания для каждого селективного критерия. Результат построения ряда распределения вероятностей случайных величин и расчета математического ожидания представлен в приложении 8.

Используя рассчитанные значения математического ожидания и среднеквадратичного отклонения для каждого из трех основных селективных критериев, получаем закон распределения погрешностей Гаусса [82]:

$$f_{K1}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 2,28} \times e^{-\frac{(x-37,30)^2}{2 \times 2,28^2}}, \quad (3.1)$$

$$f_{K2}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 3,45} \times e^{-\frac{(x-35,87)^2}{2 \times 3,45^2}}, \quad (3.2)$$

$$f_{K3}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 3,35} \times e^{-\frac{(x-39,78)^2}{2 \times 3,35^2}}, \quad (3.3)$$

Используя полученные функции, строим графики плотности распределения погрешностей, представленные на рисунке 3.17.

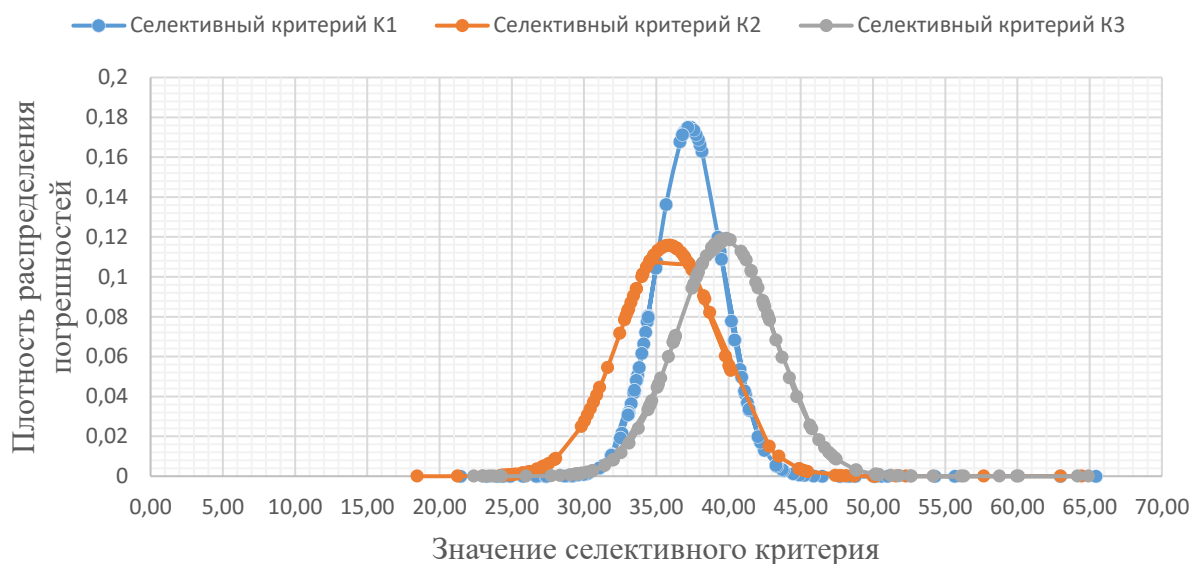


Рисунок 3.17. График плотности распределения вероятностей случайных величин основных селективных критериев выделенных областей семени пшеницы сорта Безостая 100

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 оптико-электронной установкой достоверной вероятностью является значение 92%, поэтому полученные погрешности можно считать допустимыми.

Таким образом, можно установить, что расхождение теоретических и экспериментальных данных по определению селективных критериев составляет не более 7% (см. Приложение 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.

Таким образом, при наличии базы данных исследований семян пшеницы, с помощью оптико-электронной установки разделение семенного материала на группы по наличию фитопатологий является эффективным.

3.5 Расчет экономической эффективности применения оптико-электронной установки для сортировки семенного материала в селекционных центрах

Одним из главных показателей целесообразности использования выбранных параметров и режимов работы оптико-электронной установки для сортировки и анализа семенного материала является полученный в результате экономической оценки положительный эффект [61].

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, разработанное оптико-электронное устройство будем сравнивать с фотосепаратором Meyer CG10, точность сортировки которого достигает 99,9%.

Экономическую эффективность разработанного оптико-электронного устройства для сортировки семян пшеницы будем определять в соответствии с ГОСТ Р 57330-2016 «Системы промышленной автоматизации и интеграция. Системы технического обслуживания и ремонта» с учетом справочных

данных. Расчеты выполнены по данным, предоставленным Национальным центром зерна имени П.П. Лукьяненко [57, 77].

В результате данных проведенных мною исследований прямая оценка урожайных свойств отсортированного семенного материала «на поле» не проводилась, однако были отмечены некоторые положительные эффекты и тенденции от проведенного анализа зерновой массы [84]. Лабораторным методом было установлено, что проведенный анализ и сортировка зерна на фракции по различным селективным критериям, позволяет получить семена разной лабораторной всхожести. Экономическая эффективность от внедрения оптико-электронной установки для сортировки семенного материала в селекционных центрах возникает благодаря расширению спектра используемых селективных признаков и выделению группы семян более высокого качества.

Рассчитаем экономический эффект от внедрения оптико-электронной установки для сортировки семенного материала в селекционных центрах. Для этого вначале определим объем производимого селекционного материала. Объем производства селекционного семенного материала в зависимости от поставленных задач может варьироваться от 5000 до 10000 т/год. Для расчета экономической эффективности применения оптико-электронной установки для сортировки семенного материала в селекционных центрах возьмем максимальное пороговое значение объема производства (10000 т семян пшеницы). Так как изначальная засоренность зерновой массы достигает 30%, то для получения заданного объема семенного материала необходимо отсортировать около 15000 т зерна [78, 104].

Основной показатель экономической эффективности – ожидаемый годовой экономический эффект, который рассчитывается по выражению [61]:

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = (S_y^{\phi} - S_y^p) \times W_{\text{сез}}, \quad (3.4)$$

где $\mathcal{E}_{\text{год}}$ – годовой экономический эффект, руб; $W_{\text{сез}}$ – объем отсортированного семенного материала за сезон, т; S_y^{ϕ} и S_y^p –

эксплуатационные затраты, соответственно по фотосепаратору Meyer CG10 и разработанному устройству, руб.

Так как в селекционных центрах семенной материал сортируется отдельными партиями, то рассчитаем эксплуатационную производительность сортировщиков с учетом затрат времени на предварительную очистку зерновой массы от механических примесей (камни, ворох), на сортировку и на упаковку селекционного материала в мешочки с указанием селекционных номеров по следующему выражению [6]:

$$W_{\text{э}} = \frac{q}{T_{\text{пред}} + T_{\text{сорт}} + T_{\text{упак}}}, \quad (3.5)$$

где $W_{\text{э}}$ – эксплуатационная производительность установки, кг/ч;
 $T_{\text{пред}}$ – время предварительной очистки заданной партии семенного материала, ч; $T_{\text{сорт}}$ – время сортировки заданной партии семян, ч; $T_{\text{упак}}$ – время упаковки заданной партии семенного материала, ч;

Объем партий для упаковки варьируется от 5 до 10 кг в зависимости от вида сельскохозяйственной культуры. Для семян пшеницы используют партии объемом 5 кг [8, 16]. Результаты расчетов эксплуатационной производительности сравниваемых установок сведем в таблицу 3.3.

Таблица 3.3. Расчет эксплуатационной производительности опико-электронных сортировщиков

Параметр	Meyer CG10	Разработанное опико-электронное устройство
Объем обмолачиваемой партии, кг	5	5
Время предварительной очистки заданной партии семенного материала, ч	0,05	0,05
Время сортировки заданной партии семенного материала, ч	0,005	0,01
Время упаковки заданной партии семенного материала, ч	0,09	0,09
Эксплуатационная производительность молотилки, кг/ч	34,48	33,33

Исходные данные для расчета экономической эффективности разработанной оптико-электронной установки для сортировки семенного материала в селекционных центрах приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4. Исходные данные для расчета экономической эффективности использования предлагаемого устройства

№	Параметр	Обозначение	Ед. измерения	Meyer CG10	Разработанное оптико-электронное устройство
1	Количество обслуживающего персонала	k	Чел.	1	1
2	Стоимость установки с доставкой и настройкой	K _{ми}	Руб.	10500000	250000
3	Эксплуатационная производительность	W _э	Кг/ч	34,48	33,33
4	Мощность электродвигателя	N _д	кВт	4,2	4
5	Масса установки	M	т	2,2	0,15
6	Почасовая оплата труда	ЗП	руб/ч	200	200
7	Объем отсортированного семенного материала за сезон	W _{сез}	т	150	150
8	Норма амортизационных отчислений	a _i	%	12,8	12,8
9	Норма отчислений на ТО и ремонты	З _{то}	%	14	14
10	Стоимость 1 кВт*ч	Z	руб	8,88	8,88

Эксплуатационные затраты рассчитываются по выражению [53]:

$$S_y = C_z + C_a + C_{то} + C_{эл} + C_{пр} , \quad (3.6)$$

где C_z – заработная плата работников, обслуживающих установку, руб./т;
 C_a – амортизационные отчисления по оптико-электронной установке, руб./т;
 $C_{то}$ – затраты на ремонт и техническое обслуживание установки, руб./т;
 $C_{эл}$ – затраты на электроэнергию, руб./т; $C_{пр}$ – прочие эксплуатационные затраты, руб./т.

Затраты на оплату труда [53]:

$$C_z = \frac{1000 \times (k \times ЗП \times K_d) \times K_{соц}}{W_э} , \quad (3.7)$$

где k – количество работников, чел.; $ЗП$ – часовая тарифная ставка сотрудника, руб./ч; K_d – коэффициент, учитывающий доплаты к тарифной ставке за классность, стаж, премии, $K_d=1,65$; $K_{соц}$ – коэффициент, учитывающий начисления в фонд социального страхования, $K_{соц}=1,265$; $W_э$ – эксплуатационная производительность, кг/ч.

Амортизационные отчисления вычисляем по формуле [61]:

$$C_a = \frac{K_{mi} \times a_i}{100 \times W_{сез}}, \quad (3.8)$$

где K_{mi} – балансовая стоимость установки, руб.; a_i – годовая норма амортизации установки, %; $W_{сез}$ – объем отсортированного семенного материала за сезон, т.

Экономические затраты на ремонт и техническое обслуживание установки рассчитываем по формуле [61]:

$$C_{то} = \frac{K_{mi} \times Z_{то}}{100 \times W_{сез}}, \quad (3.9)$$

где $Z_{то}$ – норма отчислений на ремонт и ТО, %.

Стоимость затраченной электроэнергии рассчитаем по формуле [62]:

$$C_{эл} = \frac{1000 \times N_d \times Z}{W_э}, \quad (3.10)$$

где Z – цена 1 кВт·ч электроэнергии, руб.; N_d – мощность электродвигателя установки, кВт; $W_э$ – эксплуатационная производительность, кг/ч.

Прочие эксплуатационные затраты планируем в размере 4 % от заработной платы работников, обслуживающих оптико-электронную установку [62]:

$$C_{пр} = 0,04 \times C_з, \quad (3.11)$$

где $C_{пр}$ – прочие эксплуатационные затраты, руб./т; $C_з$ – заработная плата работников, обслуживающих установку, руб./т.

Затраты труда определим по следующему выражению [61]:

$$H_T = \frac{1000 \times k}{W_э}, \quad (3.12)$$

где N_T – затраты труда, чел.×ч/т; k – число работников, обслуживающих установку, чел; $W_э$ – эксплуатационная производительность, кг/ч.

Срок окупаемости опико-электронной установки при внедрении ее в сортировку семенного материала в селекционно-семеноводческих центрах определяется по выражению [6]:

$$T_{ок} = \frac{K_{mi}}{\mathcal{E}_{год}}, \quad (3.13)$$

где $T_{ок}$ – срок окупаемости дополнительных капиталовложений, лет; K_{mi} – дополнительные капиталовложения (стоимость опико-электронной установки), руб.; $\mathcal{E}_{год}$ – годовой экономический эффект, руб.

Энергоёмкость процесса определяем по следующей формуле [6]:

$$A = \frac{1000 \times N_d}{W_э}, \quad (3.14)$$

где A – энергоёмкость процесса, кВт·ч/т.

Полученные данные сведем в результирующую таблицу 3.5.

Таблица 3.5. Результаты расчета экономической эффективности применения опико-электронной установки для сортировки семенного материала в селекционных центрах

Показатель	Обозначение	Ед. измерения	Meyer CG10	Разработанное опико-электронное устройство
Стоимость установки с доставкой и настройкой	K_{mi}	руб.	10500000	250000
Эксплуатационная производительность	$W_э$	кг/ч	34,48	33,33
Затраты на оплату труда	$C_з$	руб./т	12107,0	12524,8
Амортизационные отчисления	C_a	руб./т	896,0	21,3
Экономические затраты на ремонт и техническое обслуживание	$C_{то}$	руб./т	980,0	23,3
Стоимость затраченной электроэнергии	$C_{эл}$	руб./т	1081,7	1065,7
Прочие эксплуатационные затраты	$C_{пр}$	руб./т	484,3	501,0
Затраты труда	N_T	чел.×ч/т	29,0	30,0
Энергоёмкость процесса	A	кВт·ч/т	121,8	120,0
Эксплуатационные затраты	S_y	руб./т	15549,0	14136,1
Годовой экономический эффект	$\mathcal{E}_{год}$	руб.	211928,10	
Срок окупаемости опико-электронной установки	$T_{ок}$	лет	1,18	

Таким образом, экономическая эффективность применения оптико-электронной установки для сортировки семенного материала в селекционных центрах по сравнению с фотосепаратором Meyer CG10 составит 211928,10 рублей. Срок окупаемости предлагаемой установки составляет 1 год 2 месяца. Также стоит учитывать повышение качества получаемой зерновой массы за счет того, что предлагаемая оптико-электронная установка способна отделять семенной материал, пораженный фитопатологиями.

3.6. Выводы

1. Разработана итоговая схема расчета параметров и выбора режимов работы оптико-электронной установки для цветового анализа и сортировки семенного материала, для которой входными данными являются параметры семян заданной сельскохозяйственной культуры, требования к их качеству, а также производительность установки. Расчет такой системы выполняется следующим образом: расчет и выбор параметров электродвигателей системы загрузки, перемещения и распределения сортируемых по цвету семян; определение оптимальных параметров для расчета и выбора элементов оптического блока, обеспечивающих получение качественного изображения; определение параметров идентификации и анализа объектов аналитическим блоком установки для обработки полученных от оптического блока изображений, решение заданной проблемы разделения семян по заданному селективному признаку; расчет и выбор элементов исполнительного блока для завершения процесса сортировки семенного материала. Результатом является получение информации о возможности или невозможности цветовой сепарации семян требуемой культуры.

2. Произведен анализ существующих алгоритмов работы современных фотосепараторов и на их основе разработан уникальный алгоритм работы оптико-электронной установки для анализа и распознавания семян различных сельскохозяйственных культур. Он позволяет осуществлять поштучную подачу семян в рабочую зону анализа и является универсальным благодаря

возможности самообучения и изменения параметров работы установки посредством модернизации программной части устройства.

3. Для определения рациональных параметров и режимов работы оптико-электронной установки для анализа и сортировки семян на кафедре физики Кубанского ГАУ было изготовлено экспериментальное устройство для сортировки семенного материала. 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) для проведения цветового анализа объекта и принятия решения о разделении зерновой массы на группы согласно заданным селективным параметрам.

4. Была разработана методика проведения цветового анализа изображений семян с целью определения рациональных параметров работы оптико-электронной установки для анализа и сортировки семенного материала. Предложенная методика основывается на определении цветовых параметров поверхности семян в формате HSV, когда спектральные характеристики заданной поверхности представляются в виде цветового тона, насыщенности и яркости. В целях повышения эффективности и точности сортировки зерновой массы было предложено при проведении цветового анализа изображения выделять на поверхности семян 3 основных области: центральную, верхнюю и нижнюю. При возникновении неопределенностей в определении критериев сортировки возможно выделение и анализ 2 дополнительных боковых областей. Предложенная методика анализа выделенных областей позволяет определить и оценить селективные признаки семян: сорт, культура, наличие фитопатологий.

5. Проведены экспериментальные исследования для подтверждения методики определения параметров зараженных семян пшеницы. В качестве определяемых фитопатологий были взяты фузариоз и септориоз. В ходе эксперимента был произведен цветовой анализ изображений 2 партий семян пшеницы по 100 шт. каждая. Исследование проводилось в 3 этапа согласно

предлагаемой методике и основывалось на сравнении анализируемых семян с эталонными, для которых были установлены их параметры посредством лабораторного фитопатологического исследования. Согласно экспериментальному исследованию, было произведено разделение предложенных партий семян на группы согласно признаку наличия фитопатологий, которое показало высокую точность.

В результате сопоставления экспериментальных и теоретических графиков распределения селективных критериев для выделенных областей поверхности семени, было установлено, что расхождение теоретических и практических данных составляет не более 7%, что является допустимым с учетом самообучаемости искусственного интеллекта оптико-электронной установки.

6. Внедрение многокритериальной оптико-электронной установки для сортировки семян пшеницы в селекционно-семеноводческих центрах позволит получить экономический эффект в размере 211928,10 рублей. 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.

Список литературных источников

1. Абделхамид, М. А. Автоматический контроль зрелости томатов с помощью быстрой флуоресценции хлорофилла / М. А. Абделхамид, Ю. А. Судник // Международный технико-экономический журнал. – 2022. – № 2. – С. 54-60. – DOI 10.34286/1995-4646-2022-83-2-54-60.
2. Аксенов, А. Г. Анализ интеллектуальных систем поддержки принятия решений в сельском хозяйстве / А. Г. Аксенов // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2019. – № 3(36). – С. 46-51.
3. Андреев, С. А. Экспериментальные исследования дражирования семян в барабанном дражираторе / С. А. Андреев // Агроинженерия. – 2022. – Т. 24, № 5. – С. 16-23. – DOI 10.26897/2687-1149-2022-5-16-23.
4. Андриянов, Н. А. Обнаружение объектов на изображении: от критериев Байеса и Неймана-Пирсона к детекторам на базе нейронных сетей / Н. А. Андриянов, В. Е. Дементьев, А. Г. Ташлинский // Компьютерная оптика. – 2022. – Т. 46, № 1. – С. 139-159. – DOI 10.18287/2412-6179-СО-922.
5. Барышев, Д. Д. Программно-аппаратный комплекс оценки качества фракционирования семян пшеницы по биоэлектрическим сигналам: специальность 05.20.02 "Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Барышев Денис Дмитриевич. – Барнаул, 2020. – 127 с.
6. Барышева, Н. Н. Методология диагностирования посевного качества семян пшеницы для повышения урожайности: специальность 05.20.02 "Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Барышева Надежда Николаевна. – Барнаул, 2021. – 308 с.
7. Башилов, А. М. Проектирование видеосистем управления объектами аграрного производства / А. М. Башилов, В. А. Королев // АгроФорум. – 2021. – № 1. – С. 68-72.

8. Беляков, М. В. Оптико-электронная технология и средства управления биологической активностью семян: специальность 05.20.02 "Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Беляков Михаил Владимирович. – Смоленск, 2008. – 143 с.

9. Бородин, И.Ф. Автоматизация технологических процессов / И.Ф. Бородин, Ю.А. Судник. - М.: Колос, 2003.

10. Припоров, И. Е. Совершенствование процесса очистки семенного материала на воздушно-решетных зерноочистительных машинах / И. Е. Припоров, А. Б. Шепелев, А. В. Асеева // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 131. – С. 29-44.

11. Буклагин, Д. С. Применение цифровых технологий при испытаниях сельскохозяйственной техники и контроле качества семян / Д. С. Буклагин // Инновации в сельском хозяйстве. – 2019. – № 1(30). – С. 259-270.

12. Байнева, И. И. Энергоэффективные светодиодные технологии в сельском хозяйстве / И. И. Байнева // Автоматизация. Современные технологии. – 2017. – Т. 71, № 7. – С. 298-302.

13. Бурмистров, А. В. Распознавание объектов на изображениях с использованием базовых средств языка Python и библиотеки opencv / А. В. Бурмистров, В. Ю. Ильичев // Научное обозрение. Технические науки. – 2021. – № 5. – С. 15-19.

14. Вагнер, О. В. Цифровой помощник сталевара на базе технологий компьютерного зрения и машинного обучения / О. В. Вагнер // Автоматизация в промышленности. – 2022. – № 4. – С. 3-6. – DOI 10.25728/avtprom.2022.04.01.

15. Визильтер, Ю.В. Обработка и анализ цифровых изображений с примерами на LabVIEW IMAQ Vision / Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю., Князь В.А. [и др.]. - М.: ДМК Пресс, 2007. - С. 14-16.

16. Влияние температуры и влажности на состав фитопатогенов пшеницы при хранении зерна / В. В. Сурначева, М. П. Казанцев, А. С.

Коробейников, Л. Ф. Ашмарина // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2022. – Т. 52, № 5. – С. 49-55. – DOI 10.26898/0370-8799-2022-5-6.

17. Гончаров, С. В. Селекция озимой пшеницы: в поисках совершенствования механизма финансирования / С. В. Гончаров // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2016. – № 3(50). – С. 18-31. – DOI 10.17238/issn2071-2243.2016.3.18.

18. Защепкин Е. Е. Фитосанитарное состояние и урожайность озимой пшеницы при технологии прямого посева на черноземе выщелоченном Центрального Предкавказья : специальность 06.01.07 "Защита растений" : диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / Защепкин Евгений Евгеньевич. – Ставрополь, 2016. – 226 с.

19. К вопросу улучшения качества анализа продукции путём применения алгоритмов компьютерного зрения / О. Б. Шилович, В. Г. Гуляй, А. И. Марков, Д. А. Шаповалов // ЦИТИСЭ. – 2023. – № 1(35). – С. 191-201. – DOI 10.15350/2409-7616.2023.1.16.

20. К разработке машин на основе искусственного интеллекта и систем технического зрения / П. П. Казакиевич, Д. И. Комлач, А. Н. Юрин, А. С. Воробей // АгроЭкоИнженерия. – 2023. – № 1(114). – С. 14-31. – DOI 10.24412/2713-2641-2023-1114-14-31.

21. Карпова, О. М. Распознавание изображений известной формы на фотоснимках / О. М. Карпова, Е. С. Нежевенко, Г. Д. Уманцев // Автометрия. – 1975. – № 3. – С. 68-72. – EDN VJWNWA.

22. Королев, В. А. Аграрные электророботизированные модульные структуры / В. А. Королев, А. М. Башилов // Вестник аграрной науки Дона. – 2022. – № 1(57). – С. 65-77. – DOI 10.55618/20756704_2022_15_1_65-77.

23. Королев, В. А. Видеоцифровое системно-метрическое управление агротехнологическими процессами / В. А. Королев, А. М. Башилов // Вестник аграрной науки Дона. – 2019. – № 4(48). – С. 68-75.

24. Крупенько, Н. А. Фитопатологическая ситуация в посевах озимой пшеницы в 2010-2021 гг. и особенности защиты культуры от болезней в

Беларуси / Н. А. Крупенько // Защита и карантин растений. – 2022. – № 7. – С. 19-25.

25. Курзин, Н. Н. Механизм воздействия внешних электромагнитных полей на процессы стимулирования активности биологических объектов / Н. Н. Курзин, Е. А. Рожков // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 108. – С. 702-724.

26. Курзин, Н. Н. Перспективы применения современных электротехнологий в АПК Краснодарского края / Н. Н. Курзин, А. Э. Сулейманов, Е. А. Рожков // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 106. – С. 883-902.

27. Лебедев, Д. В. 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.

28. Лебедев, Д. В. Исследование зараженности семян пшеницы фузариозом оптико-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. – Казань: Общество с ограниченной ответственностью "КОНВЕРТ", 2019. – С. 165-167.

29. Лебедев, Д. В. Оптико-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.

30. Лебедев, Д. В. Оптико-электронный экспресс анализ семенного материала / Д. В. Лебедев, Б. К. Цыганков. – Краснодар : Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2014. – 148 с.

31. Лебедев, Д. В. Отсортровка 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.

32. Лебедев, Д. В. Параметры процесса распознавания семян люцерны в семенном материале высокоточным оптико-электронным способом: специальность 05.20.02 "Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Лебедев Дмитрий Васильевич. – Краснодар, 2006. – 23 с.

33. Лебедев, Д. В. Параметры процесса распознавания семян люцерны в семенном материале высокоточным оптико-электронным способом: специальность 05.20.02 "Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Лебедев Дмитрий Васильевич. – Краснодар, 2005. – 149 с.

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

35. Лебедев, Д. В. Применение многофункционального оптико-электронного зрения для калибровки и анализа семян гуары / Д. В. Лебедев, М. А. Калыпина // Вектор современной науки : Сборник тезисов по материалам Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых, Краснодар, 15 ноября 2022 года. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2022. – С. 853-855.

36. Лебедев, Д. В. Применение многофункциональных 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.

37. Лебедев, Д. В. 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. – DOI 10.22314/2658-4859-2021-68-2-68-77.

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

39. Лебедев, Д. В. Физика : Учебник для студентов направления 35.03.03 «Агрохимия и агропочвоведение» (Почвенно-агрохимическое обеспечение АПК) / Д. В. Лебедев, Е. А. Рожков ; Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина. – Краснодар : ООО Полиграфическое предприятие «РОСТ», 2022. – 168 с.

40. Лэй, Ч. Роботы-сборщики урожая фруктов, ягод, овощей: состояние и перспективы развития / Ч. Лэй // Мехатроника, автоматика и робототехника. – 2023. – № 11. – С. 14-21. – DOI 10.26160/2541-8637-2023-11-14-21.

41. Маркелов, С. Система контроля роста растения на основе компьютерного зрения с алгоритмами искусственного интеллекта / С. Маркелов, А. Юдина // От зеленого кампуса - к зеленому городу. – Пенза : Пензенский государственный университет, 2022. – С. 64-78.

42. Методика подготовки цифровых рентгеновских изображений семян к визуальному дешифрированию / П. А. Щукина, М. В. Архипов, Л. П. Гусакова, Н. С. Прияткин // Агрофизика. – 2020. – № 3. – С. 36-44. – DOI 10.25695/AGRPH.2020.03.06.

43. Модели изменения яркости в современном программном обеспечении / С. Н. Безрядин, П. А. Буров, Д. Ю. Ильиных, А. А. Львов // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2007. – Т. 4, № 1(28). – С. 106-110.

44. Мяснянкин, К.В. Влияние фотосепаратора на качество семян гречихи/К.В. Мяснянкин//Инновационные технологии и технические средства для АПК: материалы международной науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов, Воронежский государственный аграрный университет. – Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2014. -С. 54-60.

45. Ободец, Д. В. Анализ рынка пшеницы для применения технологии контроля качества пшеницы / Д. В. Ободец // Наука и молодежь : Материалы XVIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 2-х томах, Барнаул, 19–23 апреля 2021 года / Отв. редактор М.В. Гунер. – Барнаул: Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, 2021. – С. 312-315. – EDN WEYPTD.

46. 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. – DOI 10.22314/2658-4859-2020-67-3-115-119.

47. Отражательная способность почвы в видимой и ближней инфракрасных областях оптического излучения / А. М. Егоров, Ю. А. Судник, А. С. Гордеев [и др.] // Перспективы науки. – 2018. – № 4(103). – С. 13-21.

48. Павленко, Н.А. Исследование и разработка оптико-электронной системы для сепарации минерального сырья по цвету: специальность 05.11.07 "Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Павленко Никита Андреевич. – Санкт-Петербург, 2016г. – 150 с.

49. Патент № 2199404 С1 Российская Федерация, МПК В07С 5/10. Способ сортировки семян : № 2002115617/12 : заявл. 11.06.2002 : опубл. 27.02.2003 / Б. К. Цыганков, С. В. Бурлин, Д. В. Лебедев, О. В. Новокрещенов ; заявитель Кубанский государственный аграрный университет.

50. Патент № 2601055 С1 Российская Федерация, МПК А01С 1/02, А01С 1/00. Способ определения всхожести семян сельскохозяйственных растений :

№ 2015112386/13 : заявл. 07.04.2015 : опубл. 27.10.2016 / И. И. Свентицкий, В. А. Королев, А. М. Башилов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства" (ФГБНУ ВИЭСХ).

51. Передовые достижения в применении автоматизации, роботизации и электротехнологий в АПК: Сборник статей научно-практической конференции, посвященной памяти академика РАСХН, д.т.н., профессора И.Ф. Бородина (90 лет со дня рождения) / М.Н. Ерохин, О.Н. Дидманидзе, В.И. Загинайлов, С.А. Андреев. – РГАУ — МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва 2019.- С. 320.

52. Перетягин, В. С. Исследование и разработка многокомпонентных устройств освещения для оптико-электронных систем цветового анализа объектов : специальность 05.11.07 "Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Перетягин Владимир Сергеевич. – Санкт-Петербург, 2015. – 22 с.

53. Петряков, А. Н. Разработка автоматизированной системы для контроля органолептических показателей качества гранулированных пищевых продуктов с использованием технологий компьютерного зрения: специальность 05.13.06 " Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (пищевая промышленность) «: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Петряков Александр Николаевич. – Москва, 2017. – 199 с.

54. Попов, А. С. Технологические элементы интенсификации возделывания твердой озимой пшеницы в степной зоне Северного Кавказа : специальность 06.01.01 "Общее земледелие, растениеводство" : диссертация на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук / Попов Алексей Сергеевич. – Краснодар, 2020. – 356 с.

55. 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.

56. Припоров, И. Е. Усовершенствование универсального семяочистительного комплекса/В. Д. Шафоростов, И. Е. Припоров//Международный научно-исследовательский журнал: Сборник по результатам XXX заочной научной конференции Research Journal of International Studies. –Екатеринбург: МНИЖ. -2014. -№ 8 (27). -Ч. 1. -С. 71-73.

57. Рожков, Е. А. Исследование параметров электромагнитного поля, создаваемого для обработки семян пшеницы / Е. А. Рожков // Передовые инновационные разработки. Перспективы и опыт использования, проблемы внедрения в производство : сборник научных статей по итогам одиннадцатой международной научной конференции, Казань, 30 декабря 2019 года. – Казань: ООО "КОНВЕРТ", 2019. – С. 262-264.

58. Рожков, Е. А. Оптико-электронный экспресс-анализ семенного материала / Е. А. Рожков, Д. В. Лебедев ; ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина». – 2-ое издание, дополненное, переработанное. – Краснодар : ООО Полиграфическое предприятие «РОСТ», 2022. – 108 с.

59. Рожков, Е. А. Повышение эффективности сортировки семян пшеницы путем использования оптико-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. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "КОНВЕРТ", 2019. – С. 155-157.

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

61. Рожков, Е. А. Расчет экономической эффективности оптико-электронной установки для сортировки семян различных зерновых культур / Е. А. Рожков // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2022. – Т. 69, № 4(49). – С. 25-30. – DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-4-25-30.

62. Руденко, О. В. Высокоточное нейросетевое распознавание в системах технического зрения : специальность 05.13.01 "Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям)" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Руденко Ольга Валентиновна. – Краснодар, 2011. – 139 с.

63. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2007610437. Расчет массы семени по его визуальному образу : № 2006614071 : заявл. 27.11.2006 / Е. И. Трубилин, С. В. Бурлин, Ф. В. Москаленко [и др.] ; заявитель Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина.

64. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021616728 Российская Федерация. Программа для бесконтактного определения всхожести семян в биополотнах : № 2021615594 : заявл. 19.04.2021 : опубл. 26.04.2021 / Ю. Д. Смирнов, Д. В. Пенезева, В. А. Пайор ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет».

65. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019667524 Российская Федерация. Распознавание семян оптико-электронным способом и управления системой установки : № 2019666425 : заявл. 12.12.2019 : опубл. 24.12.2019 / В. А. Безверхий, Д. В. Лебедев ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина».

66. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2005612048. Сравнение двух групп бинарного изображения семян по

заданным расчетам с построением графиков : № 2005611439 : заявл. 14.06.2005 / Ф. В. Москаленко, Д. В. Лебедев, В. А. Лебедева [и др.] ; заявитель Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина.

67. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2005612046. Оцифровка бинарного изображения семян и расчет семени по заданным геометрическим признакам : № 2005611437 : заявл. 14.06.2005 / Ф. В. Москаленко, Д. В. Лебедев, В. А. Лебедева [и др.] ; заявитель Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина.

68. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2005612694. Подготовка бинарного изображения семян к оцифровке (очистка, фильтрация, центровка, ориентация) : № 2005611436 : заявл. 14.06.2005 / Ф. В. Москаленко, Д. В. Лебедев, В. А. Лебедева [и др.] ; заявитель Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина.

69. Дидович, С. В. База данных биологических показателей управления продуктивностью агроценозов бобовых культур / С. В. Дидович // Таврический вестник аграрной науки. – 2021. – № 1(25). – С. 85-97.

70. Сорокотяга, А. А. Электронно-оптический способ компьютерной оценки морфологических параметров листьев картофеля при сортосопровождении : специальность 05.20.02 "Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Сорокотяга Александр Алексеевич. – Москва, 2005. – 191 с.

71. Стребков, Д. С. Применение фотоники и робототехники-приоритетная перспектива развития аграрного производства / Д. С. Стребков, А. М. Башилов // Инновации в сельском хозяйстве. – 2016. – № 6(21). – С. 9-16.

72. Михалев, Е. В. Основы фитопатологии / Е. В. Михалев, Л. В. Насонова. – Москва : Общество с ограниченной ответственностью "Издательство "КноРус", 2023. – 178 с. – ISBN 978-5-406-10080-6.

73. Судник, Ю. А. Метод оценки параметров настройки автоматических систем в условиях информационной неопределенности / Ю. А. Судник // Перспективы науки. – 2019. – № 8(119). – С. 46-49.

74. Судник, Ю. А. Системы автоматического управления : Учебное пособие для студентов технических вузов, обучающихся по направлению «Агроинженерия» и направленности «Автоматизация и роботизация технологических процессов» / Ю. А. Судник, В. В. Солдатов. – Москва : Общество с ограниченной ответственностью "Мегаполис", 2022. – 490 с.

75. Судник, Ю. А. Способ определения зрелости томатов на основе контроля их индукции флуоресценции хлорофилла / Ю. А. Судник, М. Абделхамид // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". – 2020. – № 1(95). – С. 51-54.

76. Солдатов, В. В. Новые законы автоматического управления технологическими процессами в АПК / В. В. Солдатов, Ю. А. Судник, О. А. Липа // Сборник научных докладов ВИМ. – 2012. – Т. 2. – С. 729-737.

77. Фитопатологическая экспертиза семян яровых зерновых культур / О. В. Лукьянова, А. С. Ступин, О. А. Антошина, Н. В. Вавилова // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2022. – Т. 14, № 3. – С. 29-38.

78. Харина, А. В. Анализ комбинационной способности гибридов яровой мягкой пшеницы по устойчивости к септориозу листьев и продуктивности / А. В. Харина, Л. В. Волкова // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2023. – Т. 24, № 2. – С. 231-239.

79. Цыганков, В. И. Совершенствование элементов технологии возделывания озимой пшеницы в северной зоне Краснодарского края : специальность 06.01.01 "Общее земледелие, растениеводство" : диссертация на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук / Цыганков Владимир Иванович. – Краснодар, 2010. – 473 с.

80. Чупринова, О. В. Метод машинного зрения для контроля качества продукции / О. В. Чупринова, А. С. Степашкина, Е. В. Помазан // Инновационное приборостроение. – 2023. – Т. 2, № 3. – С. 17-20.

81. Шабаев, Е. А. Исследование нагрева светодиодов компактного светильника для системы локального освещения / Е. А. Шабаев, М. М. Романовец, В. А. Кулачинский // Вестник аграрной науки Дона. – 2022. – № 1(57). – С. 78-86.

82. Шаззо, А. А. Разработка инновационной технологии переработки семян подсолнечника кондитерских сортов : специальность 05.18.06 "Технология жиров, эфирных масел и парфюмерно-косметических продуктов" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / А. А. Шаззо. – Краснодар, 2009. – 158 с.

83. Шапиро, Л. Компьютерное зрение : /Дж. Стокман, пер.: А.А. Богуславский, пер.: С.М. Соколов, Л. Шапиро.-3-е изд. (эл.).-М.: Лаборатория знаний, 2015.-763 с.: ил. - ISBN: 978-5-9963-3003-4

84. Электротехнологии в сельском хозяйстве : Учебно-методическое пособие для студентов направления 35.03.06 "Агроинженерия (Электрооборудование и электротехнологии)" / Н. Н. Курзин, Д. А. Нормов, Д. В. Лебедев, Е. А. Рожков. – Краснодар : Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2020. – 118 с.

85. A comprehensive review of computer-aided whole-slide image analysis: from datasets to feature extraction, segmentation, classification and detection approaches / X. Li, C. Li, M. M. Rahaman [et al.] // Artificial Intelligence Review. – 2022.

86. Amaral, L. C. M. Review of Machine Learning Algorithms for Automatic Detection of Underground Objects in GPR Images / L. C. M. Amaral, A. Roshan, A. Bayat // Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice. – 2022. – Vol. 13, No. 2. – P. 04021082.

87. Automatic soiling and partial shading assessment on PV modules through RGB images analysis / R. Cavieres, R. Barraza, D. Estay [et al.] // *Applied Energy*. – 2022. – Vol. 306. – P. 117964.

88. Bian, Zh. Communication setup of industrial robot vision system / Zh. Bian // Лучшая исследовательская статья 2022 : сборник статей IV Международного научно-исследовательского конкурса, Петрозаводск, 08 января 2023 года. – г. Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука» (ИП Ивановская И.И.), 2023. – P. 87-93.

89. Billingsley, J. Machine vision in agriculture / *Encyclopedia of Agrophysics*, - Изд.: Springer Science+Business Media B.V., 2011.

90. Blasco, J. Computer vision detection of peel defects in citrus by means of a region-oriented segmentation algorithm / Blasco J., Aleixos N., Molto E. // *Journal of Food Engineering*, Essex, v. 81, n. 3, p. 535-543, 2007 a.

91. Bradski, G.R. Learning OpenCV 3: Computer Vision in C++ with the OpenCV Library / Dr. Gary Rost Bradski, Adrian Kaehler - Изд.: O'Reilly Media, Inc., 2017.

92. Chabot, D. Using Web images to train a deep neural network to detect sparsely distributed wildlife in large volumes of remotely sensed imagery: A case study of polar bears on sea ice / D. Chabot, S. Stapleton, C. M. Francis // *Ecological Informatics*. – 2022. – Vol. 68. – P. 101547.

93. Chow, B. H. Y. Automatic gemstone classification using computer vision / B. H. Y. Chow, C. C. Reyes-Aldasoro // *Minerals*. – 2022. – Vol. 12, No. 1.

94. Design and development of adaptive simulators using 3D modeling / D.L. Dedov, M.N. Krasnyanskiy, A.D. Obukhov, A.E. Arkhipov // *Int. J. Applied Engineering Research*. - 2017. - Vol. 12. - No. 20. - P. 10415-10422.

95. Dong, Z. Computer vision to recognize construction waste compositions: A novel boundary-aware transformer (BAT) model / Z. Dong, J. Chen, W. Lu // *Journal of Environmental Management*. – 2022. – Vol. 305. – P. 114405.

96. Early detection of apple bruises on different background colors using hyperspectral imaging / Elmasry G., Wang N., Vigneault C., Qiao J., Elsayed A. // Food Science and Technology, London v. 41, n. 2, p. 337-345, 2008.

97. Elmasry, G. Delicious apple using hyperspectral imaging and neural networks. / Elmasry G., Wang N., Vigneault C. // Postharvest Biology and Technology, Amsterdam, v. 52, n. 1, p. 1-8, 2009.

98. Enhancing Eye Emotion Recognition with the Haar Classifier Using Co-Evolutionary Hybrid Intelligence / G. S. Grusha, M. Nikhil, D. Dharan [et al.] // Conference of Open Innovations Association, FRUCT. – 2023. – No. 33. – P. 359-363.

99. Human Sales Ability Estimation Based on Interview Video Analysis / K. Kassab, A. Kashevnik, E. Glekler, A. Mayatin // Conference of Open Innovations Association, FRUCT. – 2023. – No. 33. – P. 132-138.

100. Identification and Classification of Mechanical Damage during Continuous Harvesting of Root Crops Using Computer Vision Methods / A. Osipov, V. Shumaev, A. Ekielski [et al.] // IEEE Access. – 2022. – Vol. 10. – P. 28885-28894.

101. Kashevnik, A.; Ali, A. 3D Vehicle Detection and Segmentation Based on EfficientNetB3 and CenterNet Residual Blocks. Sensors 2022, 22, 7990.

102. Lobyneva, E. I. The automated translation peculiarities / E. I. Lobyneva, A. Yu. Nikolaeva // Научный потенциал. – 2023. – No. 1-2(40). – P. 47-50.

103. Romanova, G. E. Optical system design method for the concentration of radiation from a high-power LED / G. E. Romanova, X. Qiao, O. K. Kozlova // Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics. – 2022. – Vol. 22, No. 3. – P. 450-458.

104. Traffic lights detection and recognition method based on the improved yolov4 algorithm / Q. Wang, Q. Zhang, X. Liang [et al.] // Sensors. – 2022. – Vol. 22, No. 1.

Акт внедрения

научных результатов диссертационной работы **Е.А. Рожкова**
«Параметры и режимы работы оптико-электронной установки для
сортировки семян пшеницы в селекционных центрах»

Настоящий акт составлен в том, что результаты диссертационной работы Рожкова Евгения Александровича в виде программно-аппаратного комплекса апробированы и приняты к использованию на предприятии ООО "РАЗДОЛЬНОЕ" для сортировки семенного материала на группы, согласно заданным селективным критериям. Научные результаты выражены в виде параметров и режимов работы оптико-электронных устройств для сортировки семенного материала, которые реализованы в виде экспериментальной установки для сортировки семян пшеницы по заданным селективным критериям.

Программно-аппаратный комплекс прошел апробацию в качестве установки для анализа качества и сортировки семенного материала перед закладкой на хранение. Особый интерес для производства представляют алгоритмы цветового анализа семян, программное обеспечение, а также параметры и режимы работы оптико-электронной установки для анализа и сортировки семян пшеницы.

Отмечается тот факт, что разработанный комплекс позволяет определять наличие щуплых, травмированных зерен, а также семян, пораженных фитопатологиями. Результаты оценки используются для оценки качества фракционирования семян пшеницы и принятия управленческих решений во время проведения работ, связанных с разделением семенного материала на группы.

Настоящий акт не является финансовым документом и не предполагает взаимных расчетов и обязательств.

Директор ООО «Раздольное»

Гл. агроном ООО «Раздольное»

М.п.



Глоба С.Я.

Рутенко Л.А.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2809855

Опико-электронное устройство для сортировки семян сельскохозяйственных культур

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина" (RU)*

Авторы: *Лебедев Дмитрий Васильевич (RU), Дробот Виктор Александрович (RU), Рожков Евгений Александрович (RU), Гребеницкова Анастасия Александровна (RU), Лебедева Валентина Александровна (RU), Лебедев Иван Дмитриевич (RU), Лебедев Владимир Дмитриевич (RU)*

Заявка № 2023112856

Приоритет изобретения 17 мая 2023 г.

Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 19 декабря 2023 г.

Срок действия исключительного права на изобретение истекает 17 мая 2043 г.

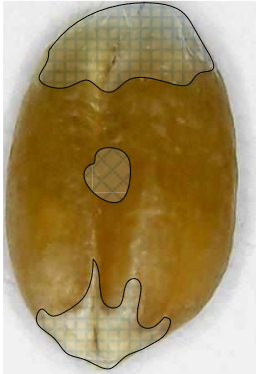
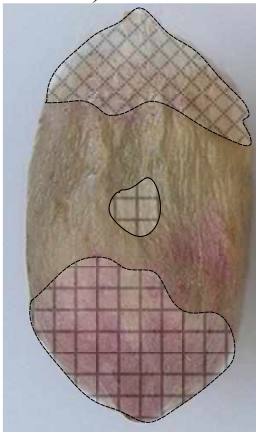
Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

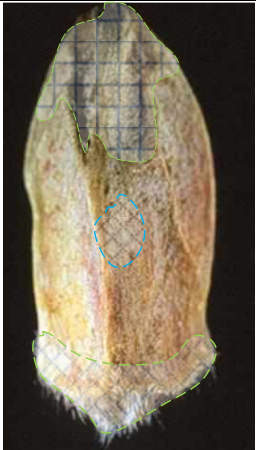
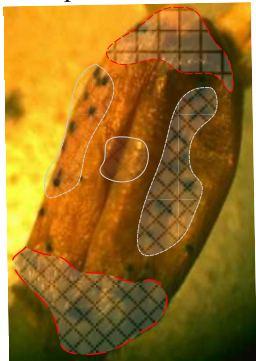

Ю.С. Зубов



ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Таблица П1. Классификатор семян пшеницы по RGB цветовым параметрам выделенных областей семени

№	Группа сортируемых семян	Селективные параметры					
		Верхняя область семени		Центральная область семени		Нижняя область семени	
		S, мкм ²	RGB	S, мкм ²	RGB	S, мкм ²	RGB
1.	Кондиционные семена пшеницы, не пораженные фитопатологиями 	476087	154; 150; 115	231526	150; 124; 68	263806	199; 195; 155
2.		227384	176; 132; 98	132568	142; 108; 75	335700	189; 185; 146
3.		301547	162; 148; 110	548632	146; 112; 72	489794	192; 198; 149
4.		288052	147; 144; 115	156239	112; 109; 68	267707	200; 180; 148
5.		249537	139; 143; 111	254789	178; 115; 60	267934	192; 182; 152
6.		282162	149; 154; 113	356896	126; 120; 64	241394	185; 183; 151
7.		439521	164; 148; 116	445698	127; 136; 70	460634	186; 200; 153
8.		450138	136; 146; 120	325648	139; 115; 65	463214	178; 196; 136
9.		244435	158; 147; 109	256845	148; 109; 64	400205	190; 194; 169
10.		444567	149; 139; 112	412356	169; 115; 58	405311	196; 187; 165
11.	Семена пшеницы, пораженные фузариозом (ранняя стадия развития болезни) 	388137	161; 147; 136	426234	153; 143; 125	473326	154; 115; 122
12.		387129	182; 168; 160	300516	149; 140; 121	373986	151; 112; 125
13.		249283	191; 178; 165	321980	151; 142; 122	431175	148; 110; 129
14.		310909	167; 157; 144	392257	147; 138; 123	228902	158; 109; 130
15.		333589	165; 148; 130	286611	143; 132; 129	204363	160; 108; 138
16.		376118	145; 123; 101	401282	140; 131; 119	249131	154; 115; 135
17.		363708	173; 163; 152	418419	138; 148; 130	270404	164; 119; 119
18.		427609	179; 163; 153	402756	152; 150; 129	277766	147; 120; 118
19.		321660	157; 132; 125	217124	155; 146; 135	485701	144; 110; 115
20.		251612	169; 145; 133	309995	160; 149; 118	300674	143; 118; 110
21.	Семена пшеницы, пораженные фузариозом (поздняя стадия развития болезни)	270096	110; 96; 76	392114	177; 157; 133	260882	248; 249; 243
22.		323994	94; 96; 89	260941	196; 184; 158	315126	220; 223; 220
23.		228704	117; 106; 90	443928	185; 179; 134	341680	235; 236; 225
24.		237144	98; 102; 76	321486	180; 175; 136	336118	238; 250; 229

25.		326250	105; 109; 85	333940	192; 171; 140	253315	242; 248; 239	
26.		480453	109; 96; 86	487543	190; 182; 143	226215	240; 241; 234	
27.		425265	95; 98; 93	440160	202; 190; 145	411513	232; 237; 225	
28.		296737	103; 129; 102	243466	208; 179; 163	373637	177; 145; 105	
29.		237131	115; 118; 112	443526	186; 170; 150	376342	165; 169; 105	
30.		286638	125; 123; 116	432521	190; 176; 148	262407	180; 154; 105	
31.	Семена пшеницы, пораженные септориозом		264143	144; 107; 60	214096	171; 112; 25	341670	87; 87; 56
32.	275867		130; 119; 56	378636	188; 118; 27	319848	82; 84; 42	
33.	352500		142; 108; 70	275485	78; 90; 56	338949	86; 74; 46	
34.	200751		135; 103; 68	217279	120; 71; 26	483446	89; 76; 49	
35.	313017		138; 110; 64	417529	115; 68; 29	314851	90; 72; 54	
36.	238900		145; 116; 75	423722	174; 111; 25	245331	74; 68; 56	
37.	244769		126; 117; 80	356130	212; 129; 29	226636	71; 54; 55	
38.	272317		127; 121; 82	266251	255; 238; 66	243816	68; 92; 67	
39.	250943		124; 100; 72	367489	80; 90; 57	461135	72; 96; 62	
40.	265343		120; 113; 78	245637	84; 93; 55	498126	73; 100; 70	
41.	Семена пшеницы, пораженные головней		401084	57; 52; 55	415270	57; 52; 55	370326	242; 198; 194
42.			202595	45; 30; 50	477417	45; 30; 50	369641	236; 205; 200
43.			416372	52; 36; 58	496722	52; 36; 58	343982	239; 206; 189
44.		215038	49; 42; 59	221849	49; 42; 59	303076	246; 212; 198	
45.		242789	47; 44; 57	375484	47; 44; 57	242665	226; 214; 205	
46.		213291	36; 58; 62	360294	36; 58; 62	226406	227; 225; 212	
47.		295452	39; 57; 63	450553	39; 57; 63	478233	236; 228; 238	
48.		232165	44; 62; 48	475895	44; 62; 48	232100	235; 237; 215	
49.		391488	69; 45; 42	226622	69; 45; 42	295130	248; 240; 236	
50.		390988	60; 55; 35	204125	60; 55; 35	361447	245; 250; 227	

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Таблица П2. Техническая характеристика фотосепараторов серии Ф

Наименование параметра	Марка			
	Ф5.1	Ф10.1	Ф15.1	Ф20.1
Габариты, мм:	1500x1045x1900	1500x1450x1900	1500x1840x1900	1500x2230x1900
Масса, кг	550	750	950	1150
Привод	Электрический			
Вид потребляемой энергии	Переменный ток напряжением 220В частотой 50Гц			
Потребляемая мощность, кВт	1,1	1,8	2,4	3,1
Производительность, т/ч	0,4 - 7,5*	0,8 - 15*	1,2 - 22,5*	1,6 - 30*
Расход воздуха, л/мин	800-1200**	1200-2000**	2000-3000**	2000-4000**
Давление воздуха на входе в фотосепаратор, МПа	0,7-0,9			
Рабочее давление воздуха, МПа	0,3-0,5			
Эжекторы	FESTO			
Время с момента обнаружения дефекта камерой до срабатывания эжектора, мс	1,5			
Наработка эжектора на отказ, млрд. циклов	5			
Особенности работы	<p>Линейные видеокамеры со встроенным быстродействующим модулем обработки изображения на базе двухядерного процессора обеспечивают формирование цифрового изображения с разрешением ~ 16000 градаций уровня яркости, что позволяет отличать едва заметные отклонения дефекта от эталона.</p> <p>Размер дефекта различаемого высокоскоростной линейной камерой – 0,5 x 0,2мм.</p> <p>Каждое зерно в потоке сканируется до 15 раз.</p>			

* Производительность и качество очистки фотосепараторами зависит от вида очищаемой культуры, её засорённости и уточняются после проведения тестирования на обрабатываемом материале.

** Расход воздуха зависит от культуры и её засорённости.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Таблица ПЗ. Техническая характеристика фотосепараторов серии Csort ZORKIY 1

№ п/п	Наименование параметра	Зоркий1	Зоркий2	Зоркий3
1	Количество каналов, шт.	54	108	162
2	Производительность (пшеница), т/ч, не менее*	4	8	12
3	Коэффициент очистки, %, не менее*	99,5		
4	Разрешение CCD – матрицы (на лоток), pixel	2048		
5	Напряжение питания, В	220±5%		
6	Частота питающей сети, Гц	50±1		
7	Номинальная потребляемая мощность, кВт	0,6	0,8	1
8	Давление воздуха, МПа	0,6		
9	Расход воздуха на технологический процесс, м ³ /ч, не более	40	80	120
10	Температура окружающей среды, °С	от 5 до 40		
11	Относительная влажность воздуха при температуре 25 °С, %	от 20 до 80		
12	Расход воздуха на аспирацию, м ³ /ч, не более	1800		
13	Габаритные размеры, мм, не более: — длина — ширина — высота	1480 1511 2000		
14	Масса, кг, не более	470	500	530
15	Класс защиты от поражения электрическим током	I		
16	Степень защиты электрооборудования	IP54		
17	Срок службы (эксплуатации), лет	5		
18	Срок хранения, лет, не более	2		
19	Ресурс, ч	41000		
20	Уровень звука на рабочем месте, дБА, не более	80		
21	Корректированный по частоте уровень виброускорения на рабочем месте, дБ, не более	100		

* При исходной засоренности не более 2%, количестве отбросов не более 300 кг/ч и объемной массе продукта 0,750 т/м³.

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Таблица П4. Техническая характеристика фотосепараторов серии Taiho 6 SXZ

Модель/параметр	2 DC (6SXZ- 126)	3 DC (6SXZ- 189)	4 DC (6SXZ- 252)	5 DC (6SXZ- 315)	6 DC (6SXZ- 378)	7 DC (6SXZ- 441)
1. Количество лотков	2	3	4	5	6	7
2. Количество клапанов, шт	126	189	252	315	378	441
3. Габаритные размеры, мм						
- длина	1 280	1 600	1 910	2 230	2 540	2 850
- ширина	1 520	1 520	1 520	1 520	1 520	1 520
- высота	2 100	2 100	2 100	2 100	2 100	2 100
4. Конструкционная масса, кг	610	790	915	1 070	1 230	1 360
5. Мощность машины, кВт	2.1	2.1	2.7	3.3	3.8	4.4
6. Чистота годного продукта	≥ 99.99 %					
7. Потребление воздуха, л/мин	500 - 1 000	800 - 1 500	1 000 - 2 000	1 300 - 2 100	2 000 - 3 500	2 500 - 4 300
8. Количество камер	4	6	8	10	12	14
9. Разрешение камеры, пикс	5 400					
10. Вид потребляемой энергии	220 В / 50 Гц					
11. Пропорция лотков для вторичной очистки:	1:1	2:1	3:1	3:2	4:2	5:2

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Таблица П5. Результаты экспериментального исследования по определению цветовых параметров семян пшеницы сорта Безостая-100 при анализе центральной области зерновки

№	X _H	X _S	№	X _H	X _S	№	X _H	X _S
1.	33	42	2.	33	56	3.	43	25
4.	34	45	5.	35	44	6.	21	30
7.	31	41	8.	38	33	9.	41	25
10.	37	66	11.	32	47	12.	38	27
13.	33	68	14.	41	43	15.	39	28
16.	30	20	17.	32	57	18.	48	53
19.	37	13	20.	37	61	21.	37	49
22.	32	17	23.	39	44	24.	25	70
25.	35	16	26.	22	49	27.	44	68
28.	36	16	29.	48	38	30.	26	33
31.	26	46	32.	50	34	33.	50	70
34.	20	67	35.	38	34	36.	48	58
37.	25	32	38.	48	61	39.	20	63
40.	29	65	41.	21	39	42.	27	66
43.	21	46	44.	43	51	45.	31	37
46.	22	60	47.	38	42	48.	43	34
49.	46	38	50.	29	63	51.	27	68
52.	48	54	53.	48	59	54.	46	33
55.	31	49	56.	38	40	57.	20	32
58.	49	42	59.	30	69	60.	22	40
61.	49	39	62.	27	63	63.	24	34
64.	27	56	65.	39	43	66.	40	48
67.	37	69	68.	46	35	69.	49	33
70.	33	42	71.	41	69	72.	37	57
73.	34	43	74.	22	54	75.	46	64
76.	42	69	77.	45	62	78.	26	31
79.	42	68	80.	37	69	81.	41	47
82.	42	35	83.	45	55	84.	26	70
85.	31	53	86.	30	57	87.	44	32
88.	41	46	89.	31	67	90.	41	54
91.	33	48	92.	37	59			
93.	34	65	94.	49	49			
95.	29	67	96.	29	61			
97.	46	37	98.	24	43			
99.	28	36	100.	50	66			

Таблица П6. Результаты экспериментального исследования по определению цветовых параметров семян пшеницы сорта Тимирязевка-150 при анализе центральной области зерновки

№	X _H	X _S	№	X _H	X _S	№	X _H	X _S
1.	44	88	2.	46	64	3.	46	79
4.	43	70	5.	42	69	6.	47	95
7.	43	63	8.	43	60	9.	41	86
10.	46	68	11.	46	70	12.	44	95
13.	43	83	14.	44	84	15.	37	88
16.	42	78	17.	300	12	18.	50	80
19.	46	65	20.	309	28	21.	35	60
22.	41	74	23.	334	14	24.	36	68
25.	47	67	26.	42	88	27.	46	85
28.	46	89	29.	43	62	30.	47	61
31.	339	7	32.	46	69	33.	43	83
34.	242	28	35.	44	67	36.	40	70
37.	331	14	38.	44	75	39.	249	23
40.	306	26	41.	42	60	42.	239	7
43.	306	25	44.	41	87	45.	308	9
46.	271	10	47.	244	20	48.	336	9
49.	302	22	50.	253	25	51.	301	20
52.	339	28	53.	277	16	54.	239	23
55.	274	15	56.	330	11	57.	278	11
58.	344	25	59.	329	25	60.	268	16
61.	43	83	62.	248	20	63.	306	14
64.	42	53	65.	307	9	66.	35	54
67.	42	70	68.	292	29	69.	44	88
70.	46	87	71.	228	20	72.	36	68
73.	347	16	74.	42	74	75.	47	50
76.	250	26	77.	37	91	78.	42	63
79.	293	27	80.	36	65	81.	42	52
82.	221	22	83.	47	59	84.	320	30
85.	44	65	86.	43	71	87.	263	9
88.	37	85	89.	47	62	90.	35	74
91.	50	83	92.	45	68	93.	44	79
94.	41	55	95.	49	79	96.	36	79
97.	43	81	98.	37	93			
99.	43	61	100.	49	80			

Таблица П7. Результаты экспериментального исследования по определению цветковых параметров семян пшеницы сорта Безостая-100 при анализе верхней и нижней областей зерновки

№	X _Н	X _С	K _{зн}	№	X _Н	X _С	K _{зн}	№	X _Н	X _С	K _{зн}
1.	49	54	2,2	2.	43	48	6,2	3.	5	21	6,2
4.	49	35	3,2	5.	18	40	4,2	6.	18	39	4,2
7.	44	69	3,6	8.	25	23	4,3	9.	46	51	4,3
10.	41	32	5,6	11.	48	27	3,8	12.	44	41	3,8
13.	42	32	2,3	14.	44	30	4,3	15.	41	67	3,8
16.	41	29	1,9	17.	40	35	3,3	18.	49	53	6,3
19.	46	26	3,1	20.	45	27	5,3	21.	48	40	3,2
22.	49	52	4,3	23.	40	40	4,3	24.	43	49	4,8
25.	42	67	4,1	26.	47	46	2,7	27.	22	38	3,7
28.	50	35	5,6	29.	49	69	6,3	30.	50	42	2,7
31.	18	26	2,7	32.	48	53	3,2	33.	43	37	2,6
34.	16	30	3,9	35.	47	51	4,8	36.	46	69	3,9
37.	28	20	4,8	38.	15	34	3,7	39.	41	27	5,4
40.	35	35	5,6	41.	42	58	2,7	42.	46	66	4,3
43.	27	16	4,6	44.	23	39	2,6	45.	46	65	5,6
46.	11	36	3,2	47.	43	45	5,2	48.	43	46	2,3
49.	35	26	2,7	50.	10	36	4,3	51.	48	48	1,9
52.	16	33	4,1	53.	49	70	5,9	54.	25	25	3,1
55.	17	35	4,3	56.	14	35	2,9	57.	42	22	4,2
58.	26	36	2,9	59.	47	53	3,9	60.	48	38	4,1
61.	35	30	3,5	62.	48	48	4,5	63.	50	31	5,6
64.	9	16	4,5	65.	41	29	5,6	66.	41	25	4,6
67.	34	38	6,2	68.	47	22	2,3	69.	49	51	3,2
70.	33	16	2,8	71.	22	30	5,3	72.	44	42	2,7
73.	35	33	4,3	74.	44	39	4,3	75.	40	33	4,1
76.	42	46	3,9	77.	45	28	2,6	78.	41	48	4,3
79.	44	34	5,6	80.	10	15	1,4	81.	45	38	2,5
82.	48	66	5,4	83.	44	36	4,3	84.	50	59	4,3
85.	41	28	4,3	86.	48	65	2,5	87.	31	21	1,9
88.	45	46	4,6	89.	48	32	3,7	90.	46	68	3,2
91.	31	19	4,5	92.	41	42	6,5	93.	42	28	2,3
94.	31	37	4,3	95.	32	38	5,7	96.	44	66	3,6
97.	43	43	4,3	98.	50	61	4,3				
99.	41	59	4,3	100.	21	15	3,6				

Таблица П8. Результаты экспериментального исследования по определению цветовых параметров семян пшеницы сорта Тимирязевка-150 при анализе верхней и нижней областей зерновки

№	X _H	X _S	K _{зн}	№	X _H	X _S	K _{зн}	№	X _H	X _S	K _{зн}
1.	41	77	2,3	2.	36	91	2,9	3.	12	64	5,6
4.	39	78	4,3	5.	42	73	3,5	6.	19	31	5,3
7.	39	88	2,9	8.	43	77	4,2	9.	18	51	2,8
10.	41	79	3,6	11.	40	89	4,1	12.	26	24	4,3
13.	41	80	5,6	14.	11	55	3,6	15.	20	37	2,9
16.	42	89	6	17.	19	20	4,9	18.	28	23	3,7
19.	17	59	4,8	20.	43	70	3,6	21.	7	31	3,7
22.	17	23	4,6	23.	44	92	4,2	24.	35	80	4,3
25.	35	86	2,9	26.	39	75	4,1	27.	6	24	6,2
28.	41	77	3,6	29.	43	89	5,2	30.	12	34	3,9
31.	42	71	5,6	32.	36	73	5,7	33.	40	94	5,6
34.	41	94	6	35.	37	72	3,7	36.	43	77	5,4
37.	38	76	2,7	38.	22	57	3,8	39.	38	73	6,2
40.	26	44	3,9	41.	37	86	4,3	42.	36	81	2,8
43.	37	77	4,3	44.	23	24	2,9	45.	36	91	3,2
46.	25	41	2,7	47.	5	55	3,8	48.	43	84	4,3
49.	42	84	6,3	50.	16	58	4,2	51.	40	76	3,9
52.	41	71	3,2	53.	40	84	4,3	54.	43	92	5,6
55.	16	51	4,8	56.	9	57	4,1	57.	40	92	5,4
58.	41	91	3,7	59.	9	20	3	60.	42	93	3,6
61.	44	78	2,7	62.	43	73	6	63.	15	55	4,2
64.	41	76	2,6	65.	38	90	5,7	66.	36	76	4,1
67.	37	79	5,2	68.	37	70	3,2	69.	43	90	5,2
70.	16	34	4,7	71.	36	89	4,5	72.	41	86	5,7
73.	39	87	4,3	74.	12	29	2,9	75.	35	89	3,7
76.	20	44	4,9	77.	12	51	3,8	78.	40	92	3,8
79.	12	45	5,2	80.	24	59	4,3	81.	39	70	4,2
82.	36	81	4,3	83.	6	32	3,9	84.	35	91	4,3
85.	39	75	5,3	86.	28	65	5,6	87.	29	63	5,6
88.	39	70	5,5	89.	25	36	5,4	90.	40	74	5,3
91.	40	79	5,6	92.	18	56	4,1	93.	42	72	5,1
94.	8	53	5,7	95.	36	90	4,6	96.	37	73	4,2
97.	39	93	3,2	98.	40	70	4,5				
99.	36	82	3,7	100.	35	86	3,8				

Таблица П9. Результаты экспериментального исследования по определению цветовых параметров семян пшеницы сорта Безостая-100 при анализе боковых областей зерновки

№	X _H	X _S	№	X _H	X _S	№	X _H	X _S
8	38	76	55	39	33	94	41	76
9	47	14	73	39	32	97	42	76
14	47	72	74	40	75	98	38	41
22	38	62	78	47	44	99	44	56
23	40	73	83	38	20			
42	40	46	84	40	71			
50	44	44	85	42	47			

Таблица П10. Результаты экспериментального исследования по определению цветовых параметров семян пшеницы сорта Тимирязевка-150 при анализе боковых областей зерновки

№	X _H	X _S	№	X _H	X _S	№	X _H	X _S	№	X _H	X _S
4	41	95	41	256	35	53	39	76	82	41	92
12	357	36	43	43	70	73	44	65	84	42	65
24	335	32	48	345	36	80	323	40			

Таблица П11. Итоговая таблица определения цветовых параметров семян пшеницы сорта Безостая-100 и выделения селективных признаков разделения на группы

№	1 этап	2 этап	Кзн	3 этап	Итог	№	1 этап	2 этап	Кзн	3 этап	Итог
1.	конд.	конд.	2,2		конд.	2.	конд.	конд.	1,9		конд.
3.	конд.	конд.	3,2		конд.	4.	конд.	конд.	3,1		конд.
5.	конд.	конд.	3,6		конд.	6.	конд.	конд.	4,3	конд.	конд.
7.	конд.	конд.	5,6		конд.	8.	конд.	конд.	4,1		конд.
9.	конд.	конд.	2,3		конд.	10.	конд.	конд.	5,6		конд.
11.	зар.	зар.	2,7		зар.	12.	конд.	конд.	2,6		конд.
13.	зар.	зар.	3,9		зар.	14.	зар.	зар.	1,4		зар.
15.	зар.	зар.	4,8		зар.	16.	конд.	конд.	4,3	зар.	конд.
17.	зар.	зар.	5,6		зар.	18.	конд.	конд.	2,5		конд.
19.	зар.	зар.	4,6		зар.	20.	конд.	конд.	3,7		конд.
21.	зар.	зар.	3,2		зар.	22.	зар.	зар.	6,2		зар.
23.	зар.	зар.	2,7		зар.	24.	зар.	зар.	4,2		зар.
25.	зар.	зар.	4,1		зар.	26.	конд.	конд.	4,3	зар.	конд.
27.	зар.	зар.	4,3	зар.	зар.	28.	конд.	конд.	3,8		конд.
29.	зар.	зар.	2,9		зар.	30.	зар.	конд.	3,8		зар.
31.	зар.	зар.	3,5		зар.	32.	конд.	конд.	6,3		конд.

33.	зар.	зар.	4,5		зар.	34.	конд.	конд.	3,2		конд.
35.	зар.	зар.	6,2		зар.	36.	конд.	конд.	4,8		конд.
37.	зар.	зар.	2,8		зар.	38.	зар.	зар.	3,7		зар.
39.	зар.	зар.	4,3	конд.	зар.	40.	конд.	конд.	2,7		конд.
41.	зар.	конд.	3,9		зар.	42.	конд.	конд.	2,6		конд.
43.	конд.	конд.	5,6		конд.	44.	конд.	конд.	3,9		конд.
45.	конд.	конд.	5,4		конд.	46.	конд.	конд.	5,4		конд.
47.	конд.	конд.	4,3	конд.	конд.	48.	зар.	конд.	4,3	конд.	конд.
49.	конд.	конд.	4,6		конд.	50.	конд.	конд.	5,6		конд.
51.	конд.	конд.	6,2		конд.	52.	конд.	конд.	2,3		конд.
53.	зар.	зар.	4,2		зар.	54.	конд.	конд.	1,9		конд.
55.	конд.	зар.	4,3	конд.	конд.	56.	зар.	зар.	3,1		зар.
57.	конд.	конд.	3,8		конд.	58.	конд.	конд.	4,2		конд.
59.	конд.	конд.	4,3	зар.	конд.	60.	зар.	конд.	4,1		зар.
61.	конд.	конд.	3,3		конд.	62.	конд.	конд.	5,6		конд.
63.	конд.	конд.	5,3		конд.	64.	конд.	конд.	4,6		конд.
65.	конд.	конд.	4,3	зар.	конд.	66.	конд.	конд.	3,2		конд.
67.	конд.	конд.	2,7		конд.	68.	конд.	конд.	2,7		конд.
69.	конд.	конд.	6,3		конд.	70.	зар.	конд.	4,1		зар.
71.	конд.	конд.	3,2		конд.	72.	конд.	конд.	4,3	зар.	конд.
73.	конд.	конд.	4,8		конд.	74.	зар.	конд.	2,5		зар.
75.	зар.	зар.	3,7		зар.	76.	конд.	конд.	4,3	конд.	конд.
77.	конд.	конд.	2,7		конд.	78.	зар.	зар.	1,9		зар.
79.	зар.	зар.	2,6		зар.	80.	зар.	конд.	3,2		зар.
81.	конд.	конд.	5,2		конд.	82.	зар.	зар.	4,5		зар.
83.	конд.	зар.	4,3	зар.	зар.	84.	конд.	зар.	4,3	конд.	конд.
85.	конд.	конд.	5,9		конд.	86.	конд.	конд.	4,3	зар.	конд.
87.	зар.	зар.	2,9		зар.	88.	конд.	конд.	4,3	конд.	конд.
89.	конд.	конд.	3,9		конд.	90.	конд.	конд.	6,5		конд.
91.	конд.	конд.	4,5		конд.	92.	зар.	зар.	5,7		зар.
93.	конд.	конд.	5,6		конд.	94.	конд.	конд.	4,3	конд.	конд.
95.	конд.	конд.	2,3		конд.	96.	зар.	зар.	3,6		зар.
97.	зар.	зар.	5,3		зар.	98.	конд.	конд.	2,3		конд.
99.	конд.	конд.	4,3	конд.	конд.	100.	конд.	конд.	3,6		конд.

Таблица П12. Итоговая таблица определения цветовых параметров семян пшеницы сорта Тимирязевка-150 и выделения селективных признаков разделения на группы

№	1 этап	2 этап	Кзн	3 этап	Итог	№	1 этап	2 этап	Кзн	3 этап	Итог
1.	конд.	конд.	2,3		конд.	2.	конд.	конд.	5,6		конд.
3.	конд.	конд.	4,3	конд.	конд.	4.	конд.	зар.	5,7		зар.
5.	конд.	конд.	2,9		конд.	6.	конд.	конд.	3,2		конд.
7.	конд.	конд.	3,6		конд.	8.	конд.	конд.	3,7		конд.
9.	конд.	конд.	5,6		конд.	10.	конд.	конд.	3,6		конд.
11.	конд.	конд.	6		конд.	12.	конд.	конд.	4,2		конд.

13.	конд.	конд.	2,9		конд.	14.	конд.	конд.	4,1		конд.
15.	конд.	конд.	3,5		конд.	16.	конд.	конд.	5,2		конд.
17.	конд.	конд.	4,2		конд.	18.	конд.	конд.	5,7		конд.
19.	конд.	конд.	4,1		конд.	20.	конд.	конд.	3,7		конд.
21.	зар.	зар.	3,6		зар.	22.	зар.	зар.	3,8		зар.
23.	зар.	зар.	4,9		зар.	24.	зар.	конд.	4,3	зар.	зар.
25.	зар.	зар.	5,6		зар.	26.	зар.	зар.	2,9		зар.
27.	зар.	зар.	5,3		зар.	28.	зар.	зар.	3,8		зар.
29.	зар.	зар.	2,8		зар.	30.	зар.	зар.	4,2		зар.
31.	зар.	зар.	4,3	зар.	зар.	32.	зар.	конд.	4,3	конд.	конд.
33.	зар.	зар.	2,9		зар.	34.	зар.	зар.	4,1		зар.
35.	зар.	зар.	3,7		зар.	36.	зар.	зар.	3		зар.
37.	зар.	зар.	4,8		зар.	38.	конд.	конд.	6		конд.
39.	зар.	зар.	4,6		зар.	40.	конд.	конд.	5,7		конд.
41.	конд.	конд.	2,9		конд.	42.	конд.	конд.	3,2		конд.
43.	конд.	конд.	3,6		конд.	44.	конд.	конд.	4,5		конд.
45.	конд.	конд.	5,6		конд.	46.	зар.	зар.	2,9		зар.
47.	конд.	конд.	6		конд.	48.	зар.	зар.	3,8		зар.
49.	конд.	конд.	2,7		конд.	50.	зар.	зар.	4,3	конд.	зар.
51.	зар.	зар.	3,9		зар.	52.	зар.	зар.	3,9		зар.
53.	зар.	конд.	4,3	зар.	зар.	54.	конд.	зар.	5,6		зар.
55.	зар.	зар.	2,7		зар.	56.	конд.	зар.	5,4		зар.
57.	конд.	конд.	6,3		конд.	58.	конд.	зар.	4,1		конд.
59.	конд.	конд.	3,2		конд.	60.	конд.	конд.	4,6		конд.
61.	конд.	зар.	4,8		зар.	62.	конд.	конд.	4,5		конд.
63.	конд.	конд.	3,7		конд.	64.	конд.	конд.	3,8		конд.
65.	конд.	конд.	2,7		конд.	66.	зар.	зар.	3,7		зар.
67.	конд.	конд.	2,6		конд.	68.	зар.	конд.	4,3	зар.	зар.
69.	конд.	конд.	5,2		конд.	70.	зар.	зар.	6,2		зар.
71.	зар.	зар.	4,7		зар.	72.	зар.	зар.	3,9		зар.
73.	зар.	конд.	4,3	зар.	зар.	74.	конд.	конд.	5,6		конд.
75.	зар.	зар.	4,9		зар.	76.	конд.	конд.	5,4		конд.
77.	зар.	зар.	5,2		зар.	78.	конд.	конд.	6,2		конд.
79.	зар.	конд.	4,3	конд.	конд.	80.	конд.	конд.	2,8		конд.
81.	конд.	конд.	5,3		конд.	82.	конд.	конд.	3,2		конд.
83.	конд.	конд.	5,5		конд.	84.	конд.	конд.	4,3	конд.	конд.
85.	конд.	конд.	3,9		конд.	86.	конд.	конд.	3,7		конд.
87.	конд.	конд.	5,6		конд.	88.	конд.	конд.	3,8		конд.
89.	конд.	конд.	5,4		конд.	90.	конд.	конд.	4,2		конд.
91.	конд.	конд.	3,6		конд.	92.	зар.	конд.	4,3	конд.	конд.
93.	зар.	зар.	4,2		зар.	94.	зар.	зар.	5,6		зар.
95.	конд.	конд.	4,1		конд.	96.	конд.	конд.	5,3		конд.
97.	конд.	конд.	5,2		конд.	98.	конд.	конд.	5,1		конд.
99.	конд.	конд.	5,7		конд.	100.	конд.	конд.	4,2		конд.

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

Таблица П13. Результаты сопоставления теоретических и практических результатов определения селективных критериев

S_1, S_2, S_3, S_4, S_5 —площадь центральной, верхней, нижней, правой, левой области семени соответственно, мм²;

$K_{1т}, K_{2т}, K_{3т}, K_{4т}, K_{5т}$ —теоретически полученное значение селективного критерия центральной, верхней, нижней, правой, левой области семени соответственно;

$K_{1п}, K_{2п}, K_{3п}, K_{4п}, K_{5п}$ —экспериментально полученное значение селективного критерия центральной, верхней, нижней, правой, левой области семени соответственно;

$\Delta K_1, \Delta K_2, \Delta K_3, \Delta K_4, \Delta K_5$ — абсолютная погрешность определения селективного критерия центральной, верхней, нижней, правой, левой области семени соответственно;

$\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4, \delta_5$ — относительная погрешность определения селективного критерия центральной, верхней, нижней, правой, левой области семени соответственно, %;

Пшеница (Тимирязевка 150)

S_1	$K_{1т}$	$K_{1п}$	ΔK_1	δ_1	S_2	$K_{2т}$	$K_{2п}$	ΔK_2	δ_2
10,72	45,31	44,15	1,16	2,63	15,22	37,47	34,49	2,98	8,64
11,22	44,59	43,78	0,81	1,85	15,72	37,05	33,83	3,22	9,52
11,72	43,92	43,40	0,52	1,20	16,22	36,64	33,72	2,92	8,66
12,22	43,28	42,78	0,5	1,17	16,72	36,24	33,37	2,87	8,60
12,72	42,68	42,71	0,03	0,07	17,22	35,87	33,29	2,58	7,75
13,22	42,11	41,49	0,62	1,49	17,72	35,50	32,50	3	9,23
13,72	41,56	40,90	0,66	1,61	18,22	35,16	35,22	0,06	0,17
14,22	41,05	40,26	0,79	1,96	18,72	34,82	35,17	0,35	1,00
14,72	40,55	39,93	0,62	1,55	19,22	34,50	35,12	0,62	1,77
15,22	40,08	39,49	0,59	1,49	19,72	34,18	35,05	0,87	2,48
15,72	39,63	38,83	0,8	2,06	20,22	33,88	34,80	0,92	2,64
16,22	39,20	38,72	0,48	1,24	20,72	33,59	34,32	0,73	2,13
16,72	38,78	38,37	0,41	1,07	21,22	33,30	33,91	0,61	1,80
17,22	38,39	38,29	0,1	0,26	21,72	33,03	33,46	0,43	1,29
17,72	38,00	37,50	0,5	1,33	22,22	32,76	33,44	0,68	2,03
18,22	37,63	37,22	0,41	1,10	22,72	32,51	33,43	0,92	2,75
18,72	37,28	37,17	0,11	0,30	23,22	32,26	33,42	1,16	3,47
19,22	36,94	37,12	0,18	0,48	23,72	32,01	33,42	1,41	4,22
19,72	36,61	37,05	0,44	1,19	24,22	31,78	33,20	1,42	4,28
20,22	36,29	36,80	0,51	1,39	24,72	31,55	33,32	1,77	5,31
20,72	35,98	36,32	0,34	0,94	25,22	31,32	33,03	1,71	5,18
21,22	35,68	35,91	0,23	0,64	25,72	31,11	32,73	1,62	4,95
21,72	35,39	35,46	0,07	0,20	26,22	30,89	32,44	1,55	4,78

22,22	35,11	35,44	0,33	0,93	26,72	30,69	32,15	1,46	4,54
22,72	34,84	35,43	0,59	1,67	27,22	30,49	31,86	1,37	4,30
S ₃	K _{3Т}	K _{3П}	ΔK ₃	δ ₃	S ₄	K _{4Т}	K _{4П}	ΔK ₄	δ ₄
20,22	41,64	40,23	1,41	3,50	15,22	26,55	26,33	0,22	0,84
20,72	41,33	39,64	1,69	4,26	15,72	26,29	25,89	0,4	1,54
21,22	41,04	39,31	1,73	4,40	16,22	26,03	25,70	0,33	1,28
21,72	40,76	38,76	2	5,16	16,72	25,77	25,24	0,53	2,10
22,22	40,48	38,72	1,76	4,55	17,22	25,51	25,19	0,32	1,27
22,72	40,22	38,53	1,69	4,39	17,72	25,26	24,89	0,37	1,49
23,22	39,96	37,85	2,11	5,57	18,22	25,01	24,88	0,13	0,52
23,72	39,70	37,71	1,99	5,28	18,72	24,76	24,38	0,38	1,56
24,22	39,46	37,46	2	5,34	19,22	24,51	24,24	0,27	1,11
24,72	39,22	37,38	1,84	4,92	19,72	24,27	23,89	0,38	1,59
25,22	38,98	37,06	1,92	5,18	20,22	24,03	23,89	0,14	0,59
25,72	38,76	36,91	1,85	5,01	20,72	23,79	23,80	0,01	0,04
26,22	38,53	36,60	1,93	5,27	21,22	23,55	23,79	0,24	1,01
26,72	38,32	36,58	1,74	4,76	21,72	23,32	23,65	0,33	1,40
27,22	38,11	36,23	1,88	5,19	22,22	23,08	23,49	0,41	1,75
27,72	37,90	36,06	1,84	5,10	22,72	22,85	23,39	0,54	2,31
28,22	37,70	35,89	1,81	5,04	23,22	22,63	23,14	0,51	2,20
28,72	37,50	34,87	2,63	7,54	23,72	22,40	22,94	0,54	2,35
29,22	37,31	34,87	2,44	7,00	24,22	22,18	22,89	0,71	3,10
29,72	37,12	34,55	2,57	7,44	24,72	21,96	22,57	0,61	2,70
30,22	36,94	34,45	2,49	7,23	25,22	21,74	22,00	0,26	1,18
30,72	36,76	34,22	2,54	7,42	25,72	21,52	21,84	0,32	1,47
31,22	36,58	34,12	2,46	7,21	26,22	21,31	21,82	0,51	2,34
31,72	36,41	34,04	2,37	6,96	26,72	21,10	21,56	0,46	2,13
32,22	36,24	33,93	2,31	6,81	27,22	20,89	21,40	0,51	2,38
S ₅	K _{5Т}	K _{5П}	ΔK ₅	δ ₅					
10,22	32,99	31,71	1,28	4,04					
10,72	32,71	31,28	1,43	4,57					
11,22	32,43	31,02	1,41	4,55					
11,72	32,16	30,81	1,35	4,38					
12,22	31,89	30,26	1,63	5,39					
12,72	31,62	30,15	1,47	4,88					
13,22	31,35	30,12	1,23	4,08					
13,72	31,08	29,96	1,12	3,74					
14,22	30,82	29,86	0,96	3,22					
14,72	30,56	29,51	1,05	3,56					
15,22	30,30	29,33	0,97	3,31					
15,72	30,05	28,89	1,16	4,02					
16,22	29,79	28,70	1,09	3,80					
16,72	29,54	28,24	1,3	4,60					
17,22	29,29	28,19	1,1	3,90					
17,72	29,04	27,89	1,15	4,12					
18,22	28,80	27,88	0,92	3,30					
18,72	28,55	27,38	1,17	4,27					
19,22	28,31	27,24	1,07	3,93					
19,72	28,07	26,89	1,18	4,39					
20,22	27,83	26,89	0,94	3,50					
20,72	27,60	26,80	0,8	2,99					

21,22	27,36	26,79	0,57	2,13					
21,72	27,13	26,65	0,48	1,80					
22,22	26,90	26,49	0,41	1,55					

Пшеница (Безостая 100)

S ₁	K _{1Т}	K _{1П}	ΔK ₁	δ ₁	S ₂	K _{2Т}	K _{2П}	ΔK ₂	δ ₂
10,72	50,12	48,15	1,97	4,09	15,22	40,21	42,49	2,28	5,37
11,22	49,42	48,78	0,64	1,31	15,72	39,81	42,83	3,02	7,05
11,72	48,76	48,40	0,36	0,74	16,22	39,42	42,72	3,3	7,72
12,22	48,14	47,78	0,36	0,75	16,72	39,05	41,37	2,32	5,61
12,72	47,55	47,71	0,16	0,34	17,22	38,7	41,29	2,59	6,27
13,22	46,99	46,49	0,5	1,08	17,72	38,36	41,5	3,14	7,57
13,72	46,46	45,90	0,56	1,22	18,22	38,03	40,22	2,19	5,45
14,22	45,95	45,26	0,69	1,52	18,72	37,71	40,17	2,46	6,12
14,72	45,47	44,93	0,54	1,20	19,22	37,4	40,12	2,72	6,78
15,22	45,00	44,49	0,51	1,15	19,72	37,11	39,05	1,94	4,97
15,72	44,56	43,83	0,73	1,67	20,22	36,82	39,8	2,98	7,49
16,22	44,13	43,72	0,41	0,94	20,72	36,54	39,32	2,78	7,07
16,72	43,72	43,37	0,35	0,81	21,22	36,27	38,91	2,64	6,78
17,22	43,33	43,29	0,04	0,09	21,72	36,01	38,46	2,45	6,37
17,72	42,95	42,50	0,45	1,06	22,22	35,76	38,44	2,68	6,97
18,22	42,58	42,22	0,36	0,85	22,72	35,51	38,43	2,92	7,60
18,72	42,23	42,17	0,06	0,14	23,22	35,27	37,42	2,15	5,75
19,22	41,89	41,12	0,77	1,87	23,72	35,04	37,42	2,38	6,36
19,72	41,56	43,05	1,49	3,46	24,22	34,82	36,2	1,38	3,81
20,22	41,24	40,80	0,44	1,08	24,72	34,6	36,52	1,92	5,26
20,72	40,94	41,32	0,38	0,92	25,22	34,38	36,35	1,97	5,42
21,22	40,64	41,91	1,27	3,03	25,72	34,17	35,28	1,11	3,15
21,72	40,35	41,46	1,11	2,68	26,22	33,97	35,17	1,2	3,41
22,22	40,07	41,44	1,37	3,31	26,72	33,77	34,04	0,27	0,79
22,72	39,79	40,43	0,64	1,58	27,22	33,58	34,92	1,34	3,84
S ₃	K _{3Т}	K _{3П}	ΔK ₃	δ ₃	S ₄	K _{4Т}	K _{4П}	ΔK ₄	δ ₄
20,22	45,03	44,23	0,8	1,81	20,22	34,74	33,47	1,27	3,79
20,72	44,7	44,64	0,06	0,13	20,72	34,38	33,45	0,93	2,78
21,22	44,37	45,31	0,94	2,07	21,22	34,02	33,44	0,58	1,73
21,72	44,06	44,76	0,7	1,56	21,72	33,67	33,11	0,56	1,69
22,22	43,75	44,72	0,97	2,17	22,22	33,32	32,68	0,64	1,96
22,72	43,45	44,53	1,08	2,43	22,72	32,97	32,52	0,45	1,38
23,22	43,16	42,85	0,31	0,72	23,22	32,62	32,25	0,37	1,15
23,72	42,88	42,71	0,17	0,40	23,72	32,28	31,88	0,4	1,25
24,22	42,61	42,46	0,15	0,35	24,22	31,95	31,44	0,51	1,62
24,72	42,35	42,38	0,03	0,07	24,72	31,61	31,41	0,2	0,64
25,22	42,09	42,06	0,03	0,07	25,22	31,28	30,78	0,5	1,62
25,72	41,83	41,91	0,08	0,19	25,72	30,95	30,32	0,63	2,08
26,22	41,59	41,6	0,01	0,02	26,22	30,63	30,28	0,35	1,16
26,72	41,35	41,58	0,23	0,55	26,72	30,31	29,82	0,49	1,64
27,22	41,12	41,23	0,11	0,27	27,22	29,99	29,41	0,58	1,97
27,72	40,89	41,06	0,17	0,41	27,72	29,68	29,03	0,65	2,24
28,22	40,66	40,89	0,23	0,56	28,22	29,37	29	0,37	1,28

28,72	40,45	39,87	0,58	1,45	28,72	29,06	28,98	0,08	0,28
29,22	40,23	39,87	0,36	0,90	29,22	28,76	28,93	0,17	0,59
29,72	40,02	39,55	0,47	1,19	29,72	28,46	28,92	0,46	1,59
30,22	39,82	39,45	0,37	0,94	30,22	28,16	28,77	0,61	2,12
30,72	39,62	40,22	0,6	1,49	30,72	27,87	28,62	0,75	2,62
31,22	39,43	39,12	0,31	0,79	31,22	27,58	28,46	0,88	3,09
31,72	39,23	38,04	1,19	3,13	31,72	27,29	28,17	0,88	3,12
32,22	39,05	39,93	0,88	2,20	32,22	27,01	28,08	1,07	3,81
S ₅	K _{5Т}	K _{5П}	ΔK ₅	δ ₅					
10,22	45,75	44,23	1,52	3,44					
10,72	45,34	44,15	1,19	2,70					
11,22	44,93	43,78	1,15	2,63					
11,72	44,53	43,4	1,13	2,60					
12,22	44,13	42,78	1,35	3,16					
12,72	43,73	42,71	1,02	2,39					
13,22	43,34	41,49	1,85	4,46					
13,72	42,95	40,9	2,05	5,01					
14,22	42,57	40,26	2,31	5,74					
14,72	42,19	39,93	2,26	5,66					
15,22	41,81	39,49	2,32	5,87					
15,72	41,43	38,83	2,6	6,70					
16,22	41,06	38,72	2,34	6,04					
16,72	40,69	38,37	2,32	6,05					
17,22	40,33	38,29	2,04	5,33					
17,72	39,97	37,5	2,47	6,59					
18,22	39,61	37,22	2,39	6,42					
18,72	39,26	37,17	2,09	5,62					
19,22	38,9	37,12	1,78	4,80					
19,72	38,56	37,05	1,51	4,08					
20,22	38,21	36,8	1,41	3,83					
20,72	37,87	36,32	1,55	4,27					
21,22	37,53	35,91	1,62	4,51					
21,72	37,19	35,46	1,73	4,88					
22,22	36,86	35,44	1,42	4,01					

Кукуруза (Ладожский 292)

S ₁	K _{1Т}	K _{1П}	ΔK ₁	δ ₁	S ₂	K _{2Т}	K _{2П}	ΔK ₂	δ ₂
30,22	56,73	54,73	2	3,65	35,22	61,65	63,02	1,37	2,17
30,72	56,30	54,70	1,6	2,93	35,72	61,28	63,00	1,72	2,73
31,22	55,88	54,11	1,77	3,27	36,22	60,91	62,45	1,54	2,47
31,72	55,47	53,58	1,89	3,53	36,72	60,55	60,25	0,3	0,50
32,22	55,05	53,39	1,66	3,11	37,22	60,19	59,61	0,58	0,97
32,72	54,64	52,98	1,66	3,13	37,72	59,83	60,60	0,77	1,27
33,22	54,23	52,81	1,42	2,69	38,22	59,47	63,27	3,8	6,01
33,72	53,83	52,49	1,34	2,55	38,72	59,11	59,96	0,85	1,42
34,22	53,42	52,40	1,02	1,95	39,22	58,76	62,67	3,91	6,24
34,72	53,03	52,02	1,01	1,94	39,72	58,41	58,61	0,2	0,34
35,22	52,63	51,66	0,97	1,88	40,22	58,06	58,59	0,53	0,90
35,72	52,24	51,64	0,6	1,16	40,72	57,71	58,28	0,57	0,98

36,22	51,85	51,19	0,66	1,29	41,22	57,36	57,93	0,57	0,98
36,72	51,46	51,03	0,43	0,84	41,72	57,02	57,58	0,56	0,97
37,22	51,07	50,51	0,56	1,11	42,22	56,68	57,24	0,56	0,98
37,72	50,69	50,50	0,19	0,38	42,72	56,34	52,11	4,23	8,12
38,22	50,31	50,23	0,08	0,16	43,22	56,00	51,79	4,21	8,13
38,72	49,94	49,97	0,03	0,06	43,72	55,67	51,48	4,19	8,14
39,22	49,56	49,74	0,18	0,36	44,22	55,34	51,18	4,16	8,13
39,72	49,19	49,69	0,5	1,01	44,72	55,01	50,87	4,14	8,14
40,22	48,83	49,67	0,84	1,69	45,22	54,68	50,57	4,11	8,13
40,72	48,46	49,51	1,05	2,12	45,72	54,35	50,26	4,09	8,14
41,22	48,10	49,35	1,25	2,53	46,22	54,02	49,96	4,06	8,13
41,72	47,74	48,88	1,14	2,33	46,72	53,70	49,66	4,04	8,14
42,22	47,38	47,67	0,29	0,61	47,22	53,38	49,37	4,01	8,12
S ₃	K _{3Т}	K _{3П}	ΔK ₃	δ ₃	S ₄	K _{4Т}	K _{4П}	ΔK ₄	δ ₄
40,22	55,46	57,54	2,08	3,61	45,22	45,67	45,62	0,05	0,11
40,72	54,97	57,00	2,03	3,56	45,72	45,33	45,47	0,14	0,31
41,22	54,47	56,79	2,32	4,09	46,22	44,99	45,43	0,44	0,97
41,72	53,99	56,62	2,63	4,65	46,72	44,66	45,34	0,68	1,50
42,22	53,50	56,46	2,96	5,24	47,22	44,32	45,32	1	2,21
42,72	53,02	56,20	3,18	5,66	47,72	43,99	44,74	0,75	1,68
43,22	52,55	55,70	3,15	5,66	48,22	43,66	44,33	0,67	1,51
43,72	52,08	55,45	3,37	6,08	48,72	43,34	44,21	0,87	1,97
44,22	51,61	54,66	3,05	5,58	49,22	43,01	44,11	1,1	2,49
44,72	51,15	54,01	2,86	5,30	49,72	42,69	44,10	1,41	3,20
45,22	50,69	53,24	2,55	4,79	50,22	42,37	43,60	1,23	2,82
45,72	50,24	54,19	3,95	7,29	50,72	42,06	42,83	0,77	1,80
46,22	49,79	53,57	3,78	7,06	51,22	41,74	42,25	0,51	1,21
46,72	49,34	51,41	2,07	4,03	51,72	41,43	42,11	0,68	1,61
47,22	48,90	50,24	1,34	2,67	52,22	41,12	42,07	0,95	2,26
47,72	48,46	51,69	3,23	6,25	52,72	40,81	41,63	0,82	1,97
48,22	48,03	49,19	1,16	2,36	53,22	40,51	40,27	0,24	0,60
48,72	47,60	50,07	2,47	4,93	53,72	40,21	38,22	1,99	5,21
49,22	47,17	49,77	2,6	5,22	54,22	39,91	38,00	1,91	5,03
49,72	46,75	48,75	2	4,10	54,72	39,61	37,44	2,17	5,80
50,22	46,33	49,61	3,28	6,61	55,22	39,31	36,72	2,59	7,05
50,72	45,91	48,48	2,57	5,30	55,72	39,02	35,82	3,2	8,93
51,22	45,50	50,00	4,5	9,00	56,22	38,73	31,86	6,87	21,56
51,72	45,09	48,02	2,93	6,10	56,72	38,44	37,73	0,71	1,88
52,22	44,69	46,15	1,46	3,16	57,22	38,15	35,45	2,7	7,62
S ₅	K _{5Т}	K _{5П}	ΔK ₅	δ ₅					
30,72	65,00	59,70	5,3	8,88					
31,22	62,13	59,11	3,02	5,11					
31,72	61,27	58,58	2,69	4,59					
32,22	60,42	58,39	2,03	3,48					
32,72	60,58	57,98	2,6	4,48					
33,22	59,76	57,81	1,95	3,37					
33,72	59,94	57,49	2,45	4,26					
34,22	58,13	57,40	0,73	1,27					
34,72	58,34	57,02	1,32	2,31					
35,22	57,55	56,66	0,89	1,57					
35,72	57,77	56,64	1,13	2,00					

36,22	61,00	56,19	4,81	8,56					
36,72	60,25	56,03	4,22	7,53					
37,22	59,50	55,51	3,99	7,19					
37,72	58,76	55,50	3,26	5,87					
38,22	58,03	55,23	2,8	5,07					
38,72	57,31	54,97	2,34	4,26					
39,22	56,60	54,74	1,86	3,40					
39,72	55,89	54,69	1,2	2,19					
40,22	55,20	54,67	0,53	0,97					
40,72	54,51	54,51	0	0,00					
41,22	53,84	54,35	0,51	0,94					
41,72	53,17	53,88	0,71	1,32					
42,22	52,51	52,67	0,16	0,30					
42,72	51,85	52,49	0,64	1,22					

Рис (Кубань 3)

S_1	K_{1T}	$K_{1П}$	ΔK_1	δ_1	S_2	K_{2T}	$K_{2П}$	ΔK_2	δ_2
20,22	58,46	59,05	0,59	1,00	35,22	46,66	45,83	0,83	1,81
20,72	57,95	58,36	0,41	0,70	35,72	46,47	45,81	0,66	1,44
21,22	57,46	57,79	0,33	0,57	36,22	46,27	45,36	0,91	2,01
21,72	56,98	57,14	0,16	0,28	36,72	46,08	48,03	1,95	4,06
22,22	56,51	57,12	0,61	1,07	37,22	45,9	47,51	1,61	3,39
22,72	56,06	57,11	1,05	1,84	37,72	45,72	47,5	1,78	3,75
23,22	55,63	57,1	1,47	2,57	38,22	45,54	47,23	1,69	3,58
23,72	55,2	57,09	1,89	3,31	38,72	45,36	46,97	1,61	3,43
24,22	54,79	56,78	1,99	3,50	39,22	45,19	46,74	1,55	3,32
24,72	54,39	55,82	1,43	2,56	39,72	45,01	46,69	1,68	3,60
25,22	54	55,58	1,58	2,84	40,22	44,85	46,67	1,82	3,90
25,72	53,62	55,48	1,86	3,35	40,72	44,68	46,51	1,83	3,93
26,22	53,25	53,9	0,65	1,21	41,22	44,52	46,35	1,83	3,95
26,72	52,89	53,73	0,84	1,56	41,72	44,36	45,88	1,52	3,31
27,22	52,54	53,55	1,01	1,89	42,22	44,2	44,67	0,47	1,05
27,72	52,2	53,35	1,15	2,16	42,72	44,05	44,49	0,44	0,99
28,22	51,87	52,84	0,97	1,84	43,22	43,89	43,67	0,22	0,50
28,72	51,54	52,43	0,89	1,70	43,72	43,74	43,64	0,1	0,23
29,22	51,22	52,11	0,89	1,71	44,22	43,59	42,79	0,8	1,87
29,72	50,91	52,03	1,12	2,15	44,72	43,45	42,74	0,71	1,66
30,22	50,61	51,73	1,12	2,17	45,22	43,3	42,62	0,68	1,60
30,72	50,31	51,7	1,39	2,69	45,72	43,16	42,47	0,69	1,62
31,22	50,02	51,11	1,09	2,13	46,22	43,02	42,43	0,59	1,39
31,72	49,73	50,58	0,85	1,68	46,72	42,88	42,34	0,54	1,28
32,22	49,46	50,39	0,93	1,85	47,22	42,75	42,32	0,43	1,02
S_3	K_{3T}	$K_{3П}$	ΔK_3	δ_3	S_4	K_{4T}	$K_{4П}$	ΔK_4	δ_4
30,22	43,3	45,72	2,42	5,29	15,22	47,21	44,24	2,97	6,71
30,72	42,78	45,39	2,61	5,75	15,72	46,51	43,62	2,89	6,63
31,22	42,27	45,25	2,98	6,59	16,22	45,84	43,34	2,5	5,77
31,72	41,77	45,14	3,37	7,47	16,72	45,2	42,7	2,5	5,85
32,22	41,27	44,98	3,71	8,25	17,22	44,59	42,63	1,96	4,60
32,72	40,78	44,87	4,09	9,12	17,72	44	42,19	1,81	4,29

33,22	40,29	44,85	4,56	10,17	18,22	43,43	42,18	1,25	2,96
33,72	39,81	44,76	4,95	11,06	18,72	42,89	41,48	1,41	3,40
34,22	39,34	44,52	5,18	11,64	19,22	42,37	41,28	1,09	2,64
34,72	38,87	44,35	5,48	12,36	19,72	41,87	40,79	1,08	2,65
35,22	38,4	43,91	5,51	12,55	20,22	41,38	40,79	0,59	1,45
35,72	37,95	42,95	5	11,64	20,72	40,92	40,66	0,26	0,64
36,22	37,49	41,34	3,85	9,31	21,22	40,47	40,65	0,18	0,44
36,72	37,05	40,29	3,24	8,04	21,72	40,03	40,45	0,42	1,04
37,22	36,6	40,28	3,68	9,14	22,22	39,61	40,22	0,61	1,52
37,72	36,17	40,2	4,03	10,02	22,72	39,21	40,08	0,87	2,17
38,22	35,74	30,12	5,62	18,66	23,22	38,81	39,73	0,92	2,32
38,72	35,31	40,11	4,8	11,97	23,72	38,43	39,45	1,02	2,59
39,22	34,89	39,64	4,75	11,98	24,22	38,06	39,38	1,32	3,35
39,72	34,47	38,66	4,19	10,84	24,72	37,7	38,92	1,22	3,13
40,22	34,06	48,54	14,48	29,83	25,22	37,35	38,11	0,76	1,99
40,72	33,65	38	4,35	11,45	25,72	37,01	37,89	0,88	2,32
41,22	33,25	37,79	4,54	12,01	26,22	36,68	37,86	1,18	3,12
41,72	32,86	37,62	4,76	12,65	26,72	36,36	37,49	1,13	3,01
42,22	32,46	37,46	5	13,35	27,22	36,05	37,26	1,21	3,25
S ₅	K _{5T}	K _{5П}	ΔK ₅	δ ₅					
20,22	47,29	45,03	2,26	5,02					
20,72	46,79	44,9	1,89	4,21					
21,22	46,3	44,89	1,41	3,14					
21,72	45,82	44,69	1,13	2,53					
22,22	45,34	44,46	0,88	1,98					
22,72	44,87	44,32	0,55	1,24					
23,22	44,4	43,97	0,43	0,98					
23,72	43,93	43,69	0,24	0,55					
24,22	43,48	43,62	0,14	0,32					
24,72	43,02	43,16	0,14	0,32					
25,22	42,57	42,35	0,22	0,52					
25,72	42,13	42,13	0	0,00					
26,22	41,69	42,1	0,41	0,97					
26,72	41,25	41,73	0,48	1,15					
27,22	40,82	41,5	0,68	1,64					
27,72	40,39	41,4	1,01	2,44					
28,22	39,97	40,95	0,98	2,39					
28,72	39,56	40,32	0,76	1,88					
29,22	39,14	39,27	0,13	0,33					
29,72	38,73	39,14	0,41	1,05					
30,22	38,33	38,95	0,62	1,59					
30,72	37,93	38,54	0,61	1,58					
31,22	37,53	38,51	0,98	2,54					
31,72	37,14	38,46	1,32	3,43					
32,22	36,75	38,32	1,57	4,10					

Ячмень (Добрыня 3)

S ₁	K _{1Т}	K _{1П}	ΔK ₁	δ ₁	S ₂	K _{2Т}	K _{2П}	ΔK ₂	δ ₂
20,22	71,48	73,36	1,88	2,56	30,22	80,3	79,16	1,14	1,44
20,72	71,09	73,32	2,23	3,04	30,72	79,9	79,12	0,78	0,99
21,22	70,7	72,6	1,9	2,62	31,22	79,5	78,28	1,22	1,56
21,72	70,31	71,95	1,64	2,28	31,72	79,1	77,54	1,56	2,01
22,22	69,93	71,72	1,79	2,50	32,22	78,71	77,27	1,44	1,86
22,72	69,54	71,21	1,67	2,35	32,72	78,32	76,68	1,64	2,14
23,22	69,16	71	1,84	2,59	33,22	77,93	76,44	1,49	1,95
23,72	68,78	70,61	1,83	2,59	33,72	77,54	75,99	1,55	2,04
24,22	68,41	70,5	2,09	2,96	34,22	77,15	75,86	1,29	1,70
24,72	68,03	70,04	2,01	2,87	34,72	76,77	75,33	1,44	1,91
25,22	67,66	69,6	1,94	2,79	35,22	76,38	74,82	1,56	2,09
25,72	67,29	69,57	2,28	3,28	35,72	76	74,79	1,21	1,62
26,22	66,92	69,02	2,1	3,04	36,22	75,62	72,15	3,47	4,81
26,72	66,55	68,82	2,27	3,30	36,72	75,25	77,92	2,67	3,43
27,22	66,18	68,18	2	2,93	37,22	74,87	77,18	2,31	2,99
27,72	65,82	68,18	2,36	3,46	37,72	74,5	77,18	2,68	3,47
28,22	65,46	67,84	2,38	3,51	38,22	74,13	76,79	2,66	3,46
28,72	65,1	67,53	2,43	3,60	38,72	73,76	76,43	2,67	3,49
29,22	64,74	67,25	2,51	3,73	39,22	73,39	76,1	2,71	3,56
29,72	64,39	67,18	2,79	4,15	39,72	73,02	76,03	3,01	3,96
30,22	64,04	67,16	3,12	4,65	40,22	72,66	76	3,34	4,39
30,72	63,68	66,96	3,28	4,90	40,72	72,3	75,77	3,47	4,58
31,22	63,34	66,76	3,42	5,12	41,22	71,94	75,54	3,6	4,77
31,72	62,99	66,19	3,2	4,83	41,72	71,58	74,88	3,3	4,41
32,22	62,64	64,71	2,07	3,20	42,22	71,22	73,18	1,96	2,68
S ₃	K _{3Т}	K _{3П}	ΔK ₃	δ ₃	S ₄	K _{4Т}	K _{4П}	ΔK ₄	δ ₄
20,22	81,8	80,35	1,45	1,80	30,22	44	42,5	1,5	3,53
20,72	81,22	79,19	2,03	2,56	30,72	43,54	42	1,54	3,67
21,22	80,66	78,52	2,14	2,73	31,22	43,09	41,97	1,12	2,67
21,72	80,1	77,43	2,67	3,45	31,72	42,64	41,9	0,74	1,77
22,22	79,54	77,33	2,21	2,86	32,22	42,19	41,73	0,46	1,10
22,72	78,98	76,95	2,03	2,64	32,72	41,75	41,63	0,12	0,29
23,22	78,43	75,6	2,83	3,74	33,22	41,31	41,39	0,08	0,19
23,72	77,88	75,32	2,56	3,40	33,72	40,88	41,35	0,47	1,14
24,22	77,34	74,82	2,52	3,37	34,22	40,46	40,32	0,14	0,35
24,72	76,8	74,66	2,14	2,87	34,72	40,03	39,77	0,26	0,65
25,22	76,27	74,02	2,25	3,04	35,22	39,62	39,75	0,13	0,33
25,72	75,73	73,72	2,01	2,73	35,72	39,2	39,43	0,23	0,58
26,22	75,21	73,11	2,1	2,87	36,22	38,79	39,35	0,56	1,42
26,72	74,68	73,06	1,62	2,22	36,72	38,39	39,21	0,82	2,09
27,22	74,16	72,36	1,8	2,49	37,22	37,99	39,08	1,09	2,79
27,72	73,64	78,03	4,39	5,63	37,72	37,59	38,88	1,29	3,32
28,22	73,13	71,69	1,44	2,01	38,22	37,2	38,84	1,64	4,22
28,72	72,62	71,65	0,97	1,35	38,72	36,81	38,61	1,8	4,66
29,22	72,11	69,41	2,7	3,89	39,22	36,42	37,96	1,54	4,06
29,72	71,61	69	2,61	3,78	39,72	36,04	37,88	1,84	4,86
30,22	71,11	68,8	2,31	3,36	40,22	35,67	37,7	2,03	5,38
30,72	70,61	68,34	2,27	3,32	40,72	35,29	37,53	2,24	5,97

31,22	70,12	68,14	1,98	2,91	41,22	34,93	36,98	2,05	5,54
31,72	69,63	67,98	1,65	2,43	41,72	34,56	36,84	2,28	6,19
32,22	69,15	67,76	1,39	2,05	42,22	34,2	36,38	2,18	5,99
S_5	K_{5T}	K_{5H}	ΔK_5	δ_5					
35,22	39,54	40,95	1,41	3,44					
35,72	38,99	40,63	1,64	4,04					
36,22	38,45	40,55	2,1	5,18					
36,72	37,91	39,21	1,3	3,32					
37,22	37,39	39,08	1,69	4,32					
37,72	36,87	38,88	2,01	5,17					
38,22	36,35	38,84	2,49	6,41					
38,72	35,85	38,61	2,76	7,15					
39,22	35,35	37,96	2,61	6,88					
39,72	34,86	35,88	1,02	2,84					
40,22	34,37	36,7	2,33	6,35					
40,72	33,9	34,53	0,63	1,82					
41,22	33,42	34,98	1,56	4,46					
41,72	32,96	34,84	1,88	5,40					
42,22	32,5	34,38	1,88	5,47					
42,72	32,05	33,84	1,79	5,29					
43,22	31,6	33,3	1,7	5,11					
43,72	31,16	32,09	0,93	2,90					
44,22	30,73	32,22	1,49	4,62					
44,72	30,3	31,09	0,79	2,54					
45,22	29,88	30,07	0,19	0,63					
45,72	29,47	30,18	0,71	2,35					
46,22	29,06	30,02	0,96	3,20					
46,72	28,65	30,85	2,2	7,13					
47,22	28,26	30,7	2,44	7,95					

ПРИЛОЖЕНИЕ 8

Таблица П14. Расчет погрешностей при определении цветовых параметров выделенной области семян

№	ΔК1	ΔК2	ΔК3	δк1, %	δк2, %	δк3, %	σк1	σк2	σк3	МК1	МК2	МК3
1	7,61	12,64	1,84	11,62	19,61	2,83	2,28	3,45	3,35	37,30	35,87	39,78
2	6,41	12,32	2,47	10,18	19,56	3,85						
3	0,25	8,06	0,50	0,45	13,97	0,83						
4	0,08	3,62	0,78	0,14	6,93	1,30						
5	2,79	3,81	0,52	5,52	7,39	0,88						
6	2,41	3,12	0,96	4,80	6,22	1,70						
7	0,62	3,81	2,16	1,22	7,63	3,98						
8	2,63	4,73	0,62	5,45	9,43	1,10						
9	0,04	3,33	2,07	0,07	6,91	3,94						
10	0,64	3,58	1,26	1,31	7,50	2,38						
11	0,36	3,80	1,37	0,74	8,02	2,65						
12	0,36	4,74	0,76	0,75	9,92	1,47						
13	0,15	6,20	0,67	0,32	12,72	1,30						
14	0,50	3,49	0,84	1,08	7,67	1,67						
15	0,56	3,38	0,32	1,21	7,53	0,64						
16	0,70	4,19	0,05	1,54	9,26	0,10						
17	0,54	4,30	0,56	1,19	9,58	1,12						
18	0,51	3,28	0,26	1,14	7,55	0,53						
19	0,73	3,02	0,19	1,66	7,05	0,39						
20	0,41	0,70	0,71	0,94	1,81	1,50						
21	0,35	0,68	0,38	0,81	1,78	0,79						
22	0,04	0,41	0,15	0,09	1,07	0,33						
23	0,45	0,86	0,06	1,06	2,29	0,13						
24	0,36	0,81	0,18	0,86	2,17	0,38						
25	1,06	2,46	0,15	2,57	6,14	0,33						
26	0,77	2,72	0,05	1,87	6,77	0,11						
27	0,48	2,94	0,64	1,15	7,34	1,43						
28	0,44	2,98	0,80	1,08	7,50	1,82						
29	0,38	0,78	0,95	0,92	2,08	2,08						
30	0,28	0,64	1,06	0,67	1,73	2,45						
31	1,11	0,45	1,29	2,68	1,22	3,02						
32	0,63	0,68	0,03	1,59	1,86	0,08						

33	1,64	0,92	0,93	3,95	2,52	2,18
34	0,89	1,15	0,31	2,21	3,15	0,73
35	1,15	1,38	0,17	2,85	3,79	0,40
36	1,18	1,38	0,15	2,93	3,82	0,36
37	0,74	1,73	0,03	1,88	4,76	0,08
38	0,81	1,64	0,02	2,06	4,56	0,06
39	0,97	1,56	0,08	2,48	4,36	0,18
40	0,08	1,47	0,01	0,22	4,14	0,04
41	0,18	1,37	0,23	0,48	3,91	0,55
42	0,27	1,28	0,12	0,71	3,67	0,28
43	0,34	1,18	0,18	0,90	3,42	0,43
44	0,18	4,08	0,23	0,48	10,95	0,56
45	0,09	3,98	0,57	0,25	10,77	1,43
46	0,06	3,88	0,37	0,17	10,57	0,92
47	0,20	3,78	0,48	0,54	10,37	1,20
48	0,17	3,68	0,37	0,47	10,16	0,94
49	1,34	3,57	1,40	3,55	9,94	3,67
50	1,10	3,46	0,69	2,95	9,72	1,73
51	0,90	3,36	0,20	2,44	9,49	0,50
52	0,06	3,25	1,12	0,18	9,25	2,95
53	1,19	3,14	0,02	3,45	9,01	0,04
54	1,14	3,03	0,85	3,34	8,76	2,24
55	0,21	2,92	0,73	0,59	8,50	1,94
56	0,11	2,81	0,73	0,32	8,24	1,95
57	1,22	3,70	0,32	3,62	10,61	0,82
58	0,33	3,58	0,17	0,94	10,37	0,45
59	0,19	3,47	0,35	0,55	10,11	0,92
60	0,36	3,36	1,32	1,05	9,86	3,64
61	0,33	3,41	1,20	0,98	10,02	3,29
62	0,56	3,17	1,05	1,65	9,42	2,89
63	0,42	3,29	0,96	1,25	9,78	2,64
64	0,48	3,22	0,86	1,42	9,63	2,39
65	0,52	3,16	0,72	1,57	9,50	2,00
66	0,55	3,12	0,91	1,67	9,42	2,54
67	0,46	3,20	1,46	1,39	9,67	4,16
68	0,34	3,30	1,40	1,04	9,99	4,00

69	1,33	3,30	1,65	4,17	10,02	4,74					
70	0,68	3,30	1,66	2,01	10,05	4,82					
71	0,47	3,07	1,65	1,40	9,46	4,78					
72	0,26	2,33	0,63	0,80	7,37	1,78					
73	0,27	1,90	2,69	0,84	6,12	8,12					
74	0,74	1,79	1,91	2,31	5,80	5,66					
75	0,64	1,68	0,96	2,01	5,48	2,77					
76	2,13	1,57	3,40	7,03	5,16	10,60					
77	1,05	1,46	2,74	3,37	4,83	8,40					
78	2,03	1,35	3,16	6,71	4,50	9,85					
79	1,02	1,24	3,08	3,29	4,17	9,61					
80	0,94	0,44	4,40	3,04	1,57	14,39					
81	1,91	0,41	3,40	6,35	1,47	10,80					
82	1,81	0,33	4,11	6,04	1,18	13,42					
83	2,12	0,65	4,39	7,19	2,37	14,53					
84	2,31	0,85	4,63	7,90	3,12	15,50					
85	2,30	0,85	4,61	7,87	3,11	15,46					
86	2,27	0,83	4,72	7,80	3,06	15,94					
87	2,18	0,75	4,62	7,48	2,75	15,62					
88	2,44	1,01	4,61	8,47	3,78	15,65					
89	1,89	1,47	4,60	6,46	5,63	15,67					
90	4,20	1,80	4,84	15,68	6,97	16,66					
91	4,21	1,82	5,43	15,77	7,07	19,17					
92	2,15	2,12	5,95	7,49	8,39	21,45					
93	3,37	2,22	7,58	12,31	8,85	29,14					
94	3,24	2,33	9,21	11,81	9,32	37,93					
95	6,60	2,43	9,20	27,54	9,79	38,02					
96	4,67	2,52	9,56	18,11	10,26	40,28					
97	5,98	2,62	9,72	24,51	10,74	41,40					
98	5,40	2,72	10,10	21,71	11,22	43,88					
99	6,95	5,63	10,03	29,90	26,49	43,65					
100	8,67	8,36	10,54	40,41	45,27	47,08					