

На правах рукописи



СОХИНОВ ДМИТРИЙ ЮРЬЕВИЧ

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ
СОРТИРОВКИ ЯБЛОК ПРИМЕНЕНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СИСТЕМЫ**

Специальность 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими
процессами и производствами

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2025

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)»

Научный руководитель: **Каргин Виталий Александрович**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Автоматизированные системы управления биотехнологическими процессами» ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)»

Официальные оппоненты: **Андреев Сергей Андреевич**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Автоматизация и роботизация технологических процессов имени академика И. Ф. Бородина» ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»

Ерещенко Виктор Валерьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и вычислительная техника» ФГБОУ ВО «Мурманский арктический университет»

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (Первый казачий университет)»

Защита состоится «02» декабря 2025 г. в 14.00 час. на заседании диссертационного совета 24.2.334.01 по защите докторских и кандидатских диссертаций на базе ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)» по адресу: 109316, г. Москва, ул. Талалихина, д.33, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «РОСБИОТЕХ» и на сайте <http://www.mgupp.ru>.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные гербовой печатью, просим направлять по адресу: 125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 11.

Автореферат разослан «____» _____ 2025 г.

Ученый секретарь диссертационного совета 24.2.334.01,
кандидат технических наук, доцент

 Полевщиков И.С.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Плодоовощная продукция традиционно занимает важное место в структуре пищевого и агропромышленного комплекса Российской Федерации. В стране выращивается широкий спектр овощей и фруктов, которые поступают как на рынок в свежем виде, так и в переработку. В частности, наиболее динамично развивающимся сегментом среди направлений переработки, производство соков занимает особое место. При этом обширные площади яблоневых садов, расположенные в различных климатических зонах страны, а также высокий спрос на натуральные продукты питания формируют базу для выпуска яблочных соков.

Повышение спроса на натуральные продукты и расширение ассортимента перерабатываемого сырья требуют постоянного совершенствования технологий, направленных не только на улучшение органолептических характеристик конечного продукта, но и на повышение его микробиологической стабильности. Ключевым фактором, определяющим качество сока, остаётся состояние исходного сырья – плодов, поступающих на переработку. Механические повреждения, ушибы или царапины, которые не влияют на внутреннюю структуру яблока, не являются критичными для процесса. Тогда как, даже небольшое поражение гнилью приводит к ухудшению вкусовых и химических свойств сока, что снижает его качество и срок хранения.

Автоматизированная сортировка плодов является важнейшим элементом современных производственных линий в пищевом и агропромышленном комплексе. Однако в малом и среднем секторе операции по отбору плодов зачастую выполняются вручную.

Таким образом, создание автоматизированной системы сортировки, которая будет игнорировать незначительные внешние дефекты и предсказывать объём гнили по площади повреждения плода, является важной задачей.

Современные методы оценки качества плодов, основанные, например, на гиперспектральном анализе или флуоресценции, имеют сложную калибровку и высокую вычислительную нагрузку; или использующие системы технического зрения (СТЗ), из-за чрезмерной чувствительности только к внешним дефектам приводят к неоправданной отбраковке, что увеличивает потери сырья и снижает эффективность переработки. Все это ограничивает их практическое применение в условиях массового производства.

Наиболее перспективным направлением здесь является интеграция алгоритмов глубокого обучения, в частности сверточных нейронных сетей (СНС), с системами нечёткой логики. Такой подход позволяет, с одной стороны, повысить точность сегментации дефектных участков, а с другой – учитывать сложные и пограничные состояния плодов, формируя гибкую и адаптивную систему оценки их пригодности к различным направлениям переработки: производство сока, пюре, кормовых продуктов или выбраковка.

В то же время внедрение подобных интеллектуальных систем требует научно обоснованного подхода к построению алгоритмов косвенной оценки

объёма повреждений, разработке архитектуры логического вывода и учёта технологических ограничений линии переработки. Помимо алгоритмических задач, ключевыми аспектами являются вопросы интеграции программного обеспечения с промышленными системами автоматизации, обеспечение высокой пропускной способности при минимальной задержке и верификация результатов на реальных производственных потоках. Таким образом, решение проблемы повышения эффективности технологического процесса автоматизированной сортировки плодов применением интеллектуальной системы оценки их качества является актуальным.

Основанием для данной работы, представляющей продолжением комплекса работ по созданию и совершенствованию автоматизированных систем управления технологическими процессами, являются программы:

- Указ Президента РФ от 10 октября 2019 г. N 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации»;
- Постановление Правительства РФ от 29 марта 2019 г. № 377 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Научно-технологическое развитие Российской Федерации» (В редакции постановлений Правительства Российской Федерации от 15.05.2025 №656);
- Доктрина продовольственной безопасности РФ (утв. Президентом РФ, Указ №20 от 21.01.2020).

Степень разработанности темы. Исследованиями в области разработки автоматизированных систем управления занимались и занимаются Благовещенская М.М., Краснов А.Е., Злобин Л.А., Каргин В.А., Благовещенский И.Г., Мокрушин С.А., Бородин И.Ф., Судник Ю.А., Петров И.К., Андреев С.А., Аристова Н.И. и др.; разработка и применение методов и технических средств оценки качества плодоовощной продукции, а также создание алгоритмов для систем технического зрения является тематикой научных исследований ученых Жирковой А.А., Балабанова П.В., Яблокова С.А., Родикова С.А., Гурьянова Д.В., Дивина А.Г., Бласцо Й., Алеихос Н., Молто Е., Дилек Е., Денер М. и др.

Приоритетные направления в исследованиях большинства ученых связаны с разработкой и повышением эффективности собственно автоматизированных систем управления технологическими процессами, а также систем технического зрения, в том числе, в пищевой промышленности и АПК. При этом использование комплексного подхода для интеллектуальной оценки качества яблок по данным системы технического зрения и принятия решений в автоматизированной системе сортировки с применением нейросетевых алгоритмов и модели нечёткой логики в настоящее время требуют пристального внимания, совершенствования и представляют большой научно-практический интерес.

Цель работы. Разработка и научное обоснование методов повышения эффективности процесса автоматизированной сортировки плодов применением интеллектуальной системы.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать математическую модель, связывающую предполагаемый объем повреждения плода гнилью с площадью поверхности дефекта;
- разработать модель нечеткой логики с приоритетной иерархией принятия решений для классификации яблок по категориям качества;
- разработать алгоритмическое обеспечение и программную реализацию системы автоматизированной оценки качества плодов при сортировке;
- разработать методику и экспериментальную модель автоматизированной системы сортировки яблок с использованием системы технического зрения;
- теоретически и экспериментально с использованием теории планирования многофакторного эксперимента оценить влияние наиболее значимых факторов на выходные показатели автоматизированной системы сортировки – ошибку классификации и производительность.

Объект исследования – автоматизированная система сортировки яблок.

Предмет исследования – процессы интеллектуальной оценки качества яблок по данным системы технического зрения и принятия решений в автоматизированной системе сортировки с применением нейросетевых алгоритмов и модели нечёткой логики.

Научная новизна работы:

- предложена математическая модель, связывающая площадь повреждения плода с его объемом на основе аппроксимации формы плода сферой, а области повреждения – средним между полусферой и сектором, учитывающая эмпирические данные распространения гнили внутри плода, позволяющая косвенно оценивать объем повреждения на основе данных, полученных системой технического зрения;
- разработан алгоритм косвенной оценки объема повреждения плодов на основе системы нечеткой логики, в которой реализована приоритетная иерархическая структура правил принятия решений, позволяющая повысить точность классификации яблок по категориям качества;
- предложен и реализован комплексный алгоритм автоматизированной сортировки яблок, включающий, в том числе, сегментацию с использованием сверточной нейронной сети, отслеживание объектов в видеопотоке, оценку площади и объема повреждения, а также управление исполнительными механизмами на базе программируемого логического контроллера;
- предложена и экспериментально обоснована математическая модель, описывающая взаимосвязь между наиболее значимыми факторами системы технического зрения и параметрами эффективности сортировки плодов, что позволяет количественно оценить их влияние и разработать методы оптимизации процесса сортировки с учетом взаимоисключающих требований к точности и производительности.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается:

- в разработке математической модели, связывающей площадь повреждения плода с его объемом;

- в разработке интеллектуальной системы автоматизированной сортировки яблок;
- в разработке алгоритма косвенной оценки объема повреждения плодов на основе системы нечеткой логики;
- в реализации комплексного алгоритма автоматизированной сортировки яблок;
- в обосновании математической модели описывающая взаимосвязь между наиболее значимыми факторами системы технического зрения;
- в применении результатов исследований в учебном процессе образовательных заведений при чтении лекций, проведении лабораторных и практических занятий.

Методология и методы исследований. В работе использованы комплексные методы теоретического и экспериментального исследования, включающие разработку математических моделей процессов оценки качества плодов, методы машинного обучения на базе сверточных нейронных сетей, алгоритмы технического зрения и нечёткой логики, а также методы математического моделирования и теории планирования многофакторного эксперимента для анализа влияния технологических параметров на эффективность сортировки. При разработке и верификации алгоритмов применялись современные программные средства, а также физическая модель сортировочной линии с системой технического зрения и промышленными исполнительными механизмами.

Экспериментальные исследования проводились в лабораторных условиях с использованием современной измерительной аппаратуры, полученные данные обрабатывались методами математической статистики, а результаты, полученные графическим способом. Применительно к задачам созданы экспериментальные стенды для лабораторных исследований физической модели автоматизированной сортировки плодов.

Диссертация соответствует паспорту специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами в части пунктов 3, 5 и 6.

Научные положения и результаты исследований, выносимые на защиту:

- математическая модель, устанавливающая зависимость между площадью повреждения поверхности яблока и предполагаемым объемом внутреннего поражения плода;
- модель нечёткой логики с приоритетной иерархией правил для классификации яблок по категориям качества;
- алгоритмическое и программное обеспечение системы автоматизированной сортировки плодов на основе данных системы технического зрения;
- математическая модель зависимости показателей эффективности системы сортировки от технологических факторов, полученная с использованием теории планирования многофакторного эксперимента.

Личный вклад соискателя состоит в разработке плана исследований; проведении анализа литературных источников по обоснованию актуальности изучаемой проблемы; постановке и решении задач исследования; выполнении теоретических исследований; разработке алгоритмического обеспечения и разработке программной реализации автоматизированной системы сортировки яблок; проведении лабораторных испытаний и на производстве; апробации результатов; подготовке и публикации научных статей по тематике работы.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность результатов исследований обеспечена применением высокоточной измерительной аппаратуры и приборов, стандартных методик исследований, обработкой экспериментальных данных методами математической статистики, сходимостью результатов теоретического и экспериментального исследований, их подтверждением при практической реализации разработок в лабораторных условиях.

Технические возможности и эффективность автоматизированной сортировки плодов с использованием интеллектуальной системы признаны важными и внедрены в производство в ООО «Русь» (г. Энгельс, Саратовская область); К(Ф)Х «Хамзат» (Шалинский район, Чеченская Республика); ООО «Агрос» (Турковский район, Саратовская область). Результаты исследования используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «РОСБИОТЕХ» при обучении бакалавриата и магистратуры.

Основные научные положения, результаты исследований, выводы и практические рекомендации диссертации были доложены, обсуждены и одобрены на:

- Всероссийская научно-практическая конференция «Интеллектуальные автоматизированные управляющие системы в биотехнологических процессах» (Москва, 2023);
- II и IV Всероссийские научно-практические конференции молодых учёных «Информатизация и автоматизация в пищевой промышленности» (Москва, 2023, 2025);
- IV, V и VI Международные конференции «Фабрика будущего: переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям и роботизированным системам для отраслей пищевой промышленности» (Москва, 2023, 2024, 2025);
- Научно-практическая конференция с международным участием «Современные проблемы автоматизации технологических процессов и производств» (Москва, 2023);
- Научно-практическая конференция с международным участием «Роговские чтения» (Москва, 2023);
- Всероссийская конференция с международным участием «Автоматизированные системы управления биотехнологическими процессами» (Москва, 2024).

По теме диссертационной работы опубликовано 24 научные работы, включая 3 статьи в изданиях, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, общих выводов, списка литературы (172 наименований) и приложений. Работа изложена на 189 страницах машинописного текста, содержит 68 рисунков, 6 таблиц и 10 приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** дана общая характеристика работы, обоснованы актуальность решаемой проблемы, научная новизна, практическая ценность, приводятся данные о реализации и апробации результатов, сформулированы научные положения, выносимые на защиту.

В **первой главе «Способы и технические средства оценки качества яблок. Постановка цели и задач исследования»** рассмотрены перспективы развития плодоовощной продукции в России, выявлена актуальность задачи повышения эффективности процесса сортировки яблок как одного из ключевых этапов производства соков, пюре и др. Проанализированы основные этапы технологии производства яблочного сока, где особое внимание уделено этапу сортировки и отбора плодов, как определяющему качество и безопасность конечного продукта. Проведена классификация основных типов повреждений плодов, включая механические, биологические и физиологические, и определено их влияние на качество яблочного сока. Особое внимание уделено проблеме выявления скрытых дефектов, в частности, гнили, которые могут оказывать существенное негативное влияние на органолептические свойства и микробиологическую стабильность сока.

Осуществлен обзор существующих методов и технических средств оценки качества яблок, включая методы на основе цветных телевизионных датчиков, гиперспектрального анализа, электрических и оптических методов контроля. Показаны ограничения каждого из рассмотренных методов. Представлен анализ применения систем технического зрения для распознавания дефектов плодов, выявлены преимущества и недостатки существующих подходов. Сделан вывод о необходимости разработки системы технического зрения, основанной на комбинировании сверточных нейронных сетей и алгоритмов нечеткой логики, для повышения эффективности и точности сортировки яблок при производстве сока.

Во **второй главе «Теоретические предпосылки реализации алгоритма косвенной оценки качества плодов при автоматизированной сортировке»** разработана обобщенная схема алгоритма управления автоматизированной сортировкой (рисунок 1). Предложенный алгоритм, основанный на анализе площади поврежденной поверхности, представляет собой многоступенчатый процесс, интегрирующий систему технического зрения, модуль предобработки изображений, нейронные сети для сегментации и регрессии, а также подсистему хранения и визуализации результатов. Процесс организован в

соответствии с принципами BPMN, где ключевые функциональные блоки представлены в виде отдельных дорожек внутри единого пула.

Этап определения площади и объема повреждения плода является центральным компонентом интеллектуальной системы оценки состояния продукции. Именно на этом этапе производится количественная характеристика повреждений, что обеспечивает основу для принятия решений в системе сортировки. Расчет реализуется в подзадачах «Определения площади плода повреждения» и «Регрессионная оценка объема повреждения» (рисунок 1).

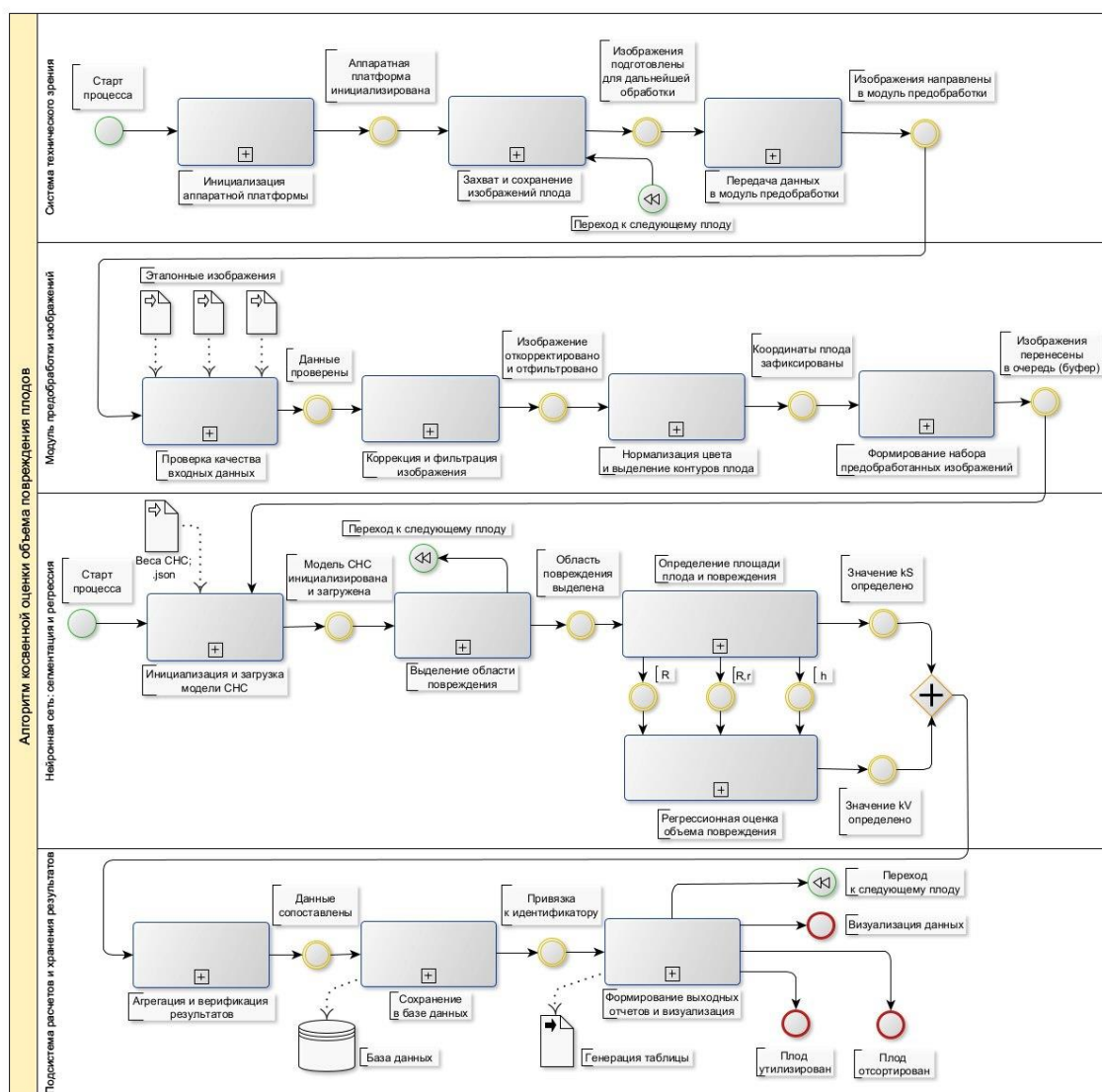


Рисунок 1. Обобщенный алгоритм управления автоматизированной сортировкой

Задача регрессионного блока связать площадь повреждения с предполагаемым объемом, опираясь на эмпирические данные распространения заболевания внутри плода:

$$k_v = f(k_s), \quad (1)$$

где k_v , k_s – относительный объем и площадь повреждения.

$$k_s = \frac{S_{\text{повр}}}{S_{\text{ябл}}}, \quad (2)$$

$$k_V = \frac{V_{\text{повр}}}{V_{\text{ябл}}}, \quad (3)$$

где $S_{\text{повр}}$, $V_{\text{повр}}$ – площадь и объем повреждения; $S_{\text{ябл}}$, $V_{\text{ябл}}$ – площадь и объем плода.

Для определения значений k_V , k_S введены ряд условий и ограничений. В частности, для оценки порядка величины дефекта аппроксимация плода в виде сферы и повреждения в виде полусферы представляется достаточным.

С учетом допущений определим площадь поверхности $S_{\text{ябл}}$ и объем $V_{\text{ябл}}$ плода 2 (рис. 2.2):

$$S_{\text{ябл}} = 4\pi R^2, \quad (4)$$

$$V_{\text{ябл}} = \frac{4}{3}\pi R^3, \quad (5)$$

где $R = \frac{R_{\min} + R_{\max}}{2}$ – среднее расчетное значение радиуса плода; $R_{\min}$, $R_{\max}$ – меньший и больший измеренные радиусы плода.

Площадь повреждения $S_{\text{повр}}$ с учетом ее аппроксимации в виде полусферы:

Рисунок 2. Расчет степени повреждения плода

$$S_{\text{повр}} = \pi(r^2 + h^2), \quad (6)$$

где r – радиус основания повреждения, $h = R - \sqrt{R^2 - r^2}$ – высота полусферы.

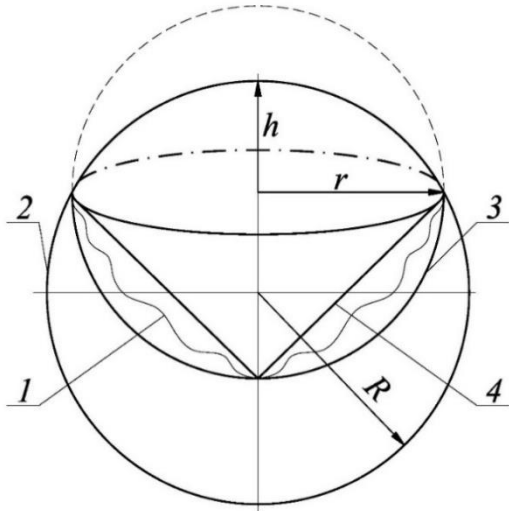
С учетом эмпирических данных о распространении гнили внутрь плода () объем повреждения 1 (рисунок 2):

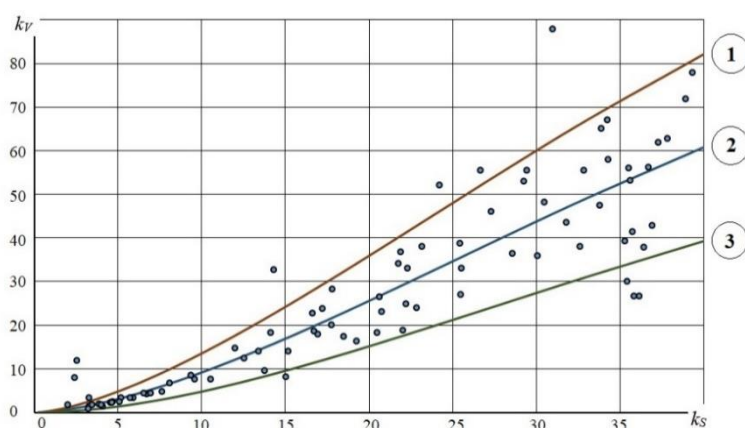
$$V_{\text{повр}} = \frac{V_{\text{повр}}^{\text{пс}} + V_{\text{повр}}^{\text{сек}}}{2}, \quad (7)$$

где $V_{\text{повр}}^{\text{пс}}$, $V_{\text{повр}}^{\text{сек}}$ – распространение гнили в виде полусферы 3 и сектора 4 (рис. 7).

$$V_{\text{повр}}^{\text{пс}} = \frac{2}{3}\pi r^3 + \pi h^2 \left(R - \frac{h}{3} \right), \quad (8)$$

$$V_{\text{повр}}^{\text{сек}} = \frac{2}{3}\pi r^2 h - \pi h^2 \left(r - \frac{h}{2} \right) + \pi h^2 \left(R - \frac{h}{2} \right). \quad (9)$$





С учетом (4)–(9) на рисунке 3 представлена функция (1). Точками показаны эмпирические данные зависимости относительного объема гнили от площади повреждения.

Аппроксимирующие диаграммы 1, 2, 3 характеризуют данные,

Рисунок 3. Аппроксимирующие диаграммы зависимости $k_v=f(k_s)$

рассчитанные соответственно по $V_{повр}^{пс}$,

$V_{повр}^{сек}$. Их анализ показывает, что

среднее значение $V_{повр}$ наилучшим образом описывает реальный объем повреждения плода гнилью в зависимости от площади дефекта.

С учетом моделирования $k_v = f(k_s)$ разработан алгоритм косвенной оценки зависимости объема повреждения плодов гнилью от площади дефекта. Результат визуализации представлены в виде BPMN-диаграммы на рисунке 4.

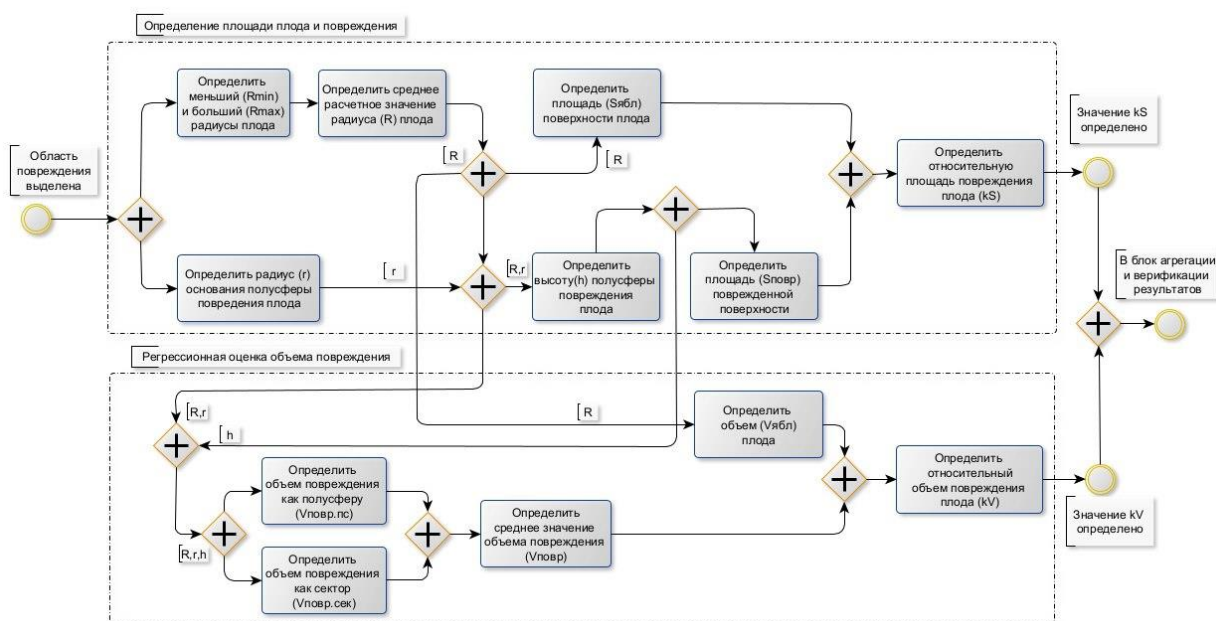


Рисунок 4. Визуализация алгоритма косвенной оценки объема повреждения плодов гнили в зависимости от площади дефекта

По результатам расчетов данные k_s и k_v передаются в агрегирующий модуль, сопоставляются с внутренними пороговыми значениями. Математическая модель управления строится как совокупность функций принадлежности и логических правил, формирующих базу знаний в терминах нечёткой логики.

Применение нечеткой логики позволяет учитывать неопределённость и размытость границ между состояниями объектов, характерную для аграрной

продукции, в частности плодов с неоднородной геометрией, цветом и степенью повреждений. Вместо жёсткого порогового деления здесь реализуется система мягких переходов между классами, основанная на оценке степени принадлежности объекта к тому или иному лингвистическому признаку.

В основе реализации нечёткой экспертной системы лежит подход Сугено нулевого порядка. Такая архитектура позволяет выполнять логический вывод с минимальными вычислительными затратами, что особенно важно при поточном принятии решений в условиях реального времени. Входными переменными системы являются параметры, описывающие состояние плода: степень повреждения « D », соответствие цвета эталону « C », форма « F » и размер « S ».

В частности, универсальное множество переменной « D » соответствует доле объёма плода, охваченного дефектом. Значение изменяется в пределах от 0 (отсутствие повреждений) до 1 (полное поражение). Для представления степени повреждения введены три терма: «Малый», «Средний» и «Высокий», соответствующие лингвистическим оценкам уровня дефекта.

Функции принадлежности этих термов определены на основе эмпирических наблюдений и экспертной оценки и описываются следующими выражениями.

Функция принадлежности для терма «Малый»:

$$\mu_{\text{мал}}(D) = \begin{cases} 1, & D \leq 0.1 \\ 1 - 10(D - 0.1), & 0.1 < D < 0.2 \\ 0, & D \geq 0.2 \end{cases} \quad (10)$$

Функция принадлежности для терма «Средний»:

$$\mu_{\text{ср}}(D) = \begin{cases} 0, & D \leq 0.1 \\ 10(D - 0.1), & 0.1 < D < 0.2 \\ 1, & 0.2 \leq D \leq 0.3 \\ 1 - 5(D - 0.3), & 0.3 < D < 0.5 \\ 0, & D \geq 0.5 \end{cases} \quad (11)$$

Функция принадлежности для терма «Высокий»:

$$\mu_{\text{выс}}(D) = \begin{cases} 0, & D \leq 0.3 \\ 5(D - 0.3), & 0.3 < D < 0.5 \\ 1, & D \geq 0.5 \end{cases} \quad (12)$$

На рисунке 5 представлены кривые принадлежности указанных термов, отображающие плавную переходность между категориями повреждённости плода.

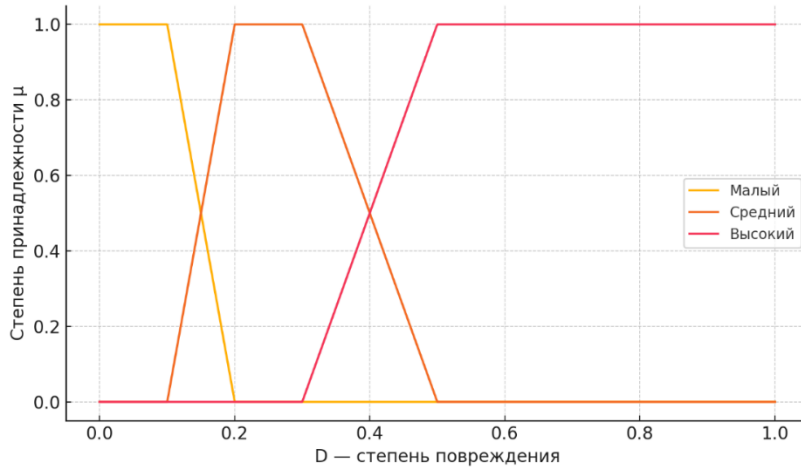


Рисунок 5. Функции принадлежности лингвистической переменной «D» – степень повреждения плода

Во второй позиции среди входной переменной системы нечёткой логики выступает параметр «С» – соответствие цвета плода эталону, определяющий степень близости реального цвета конкретного яблока к эталонному значению, принятому для сорта. Поскольку сортировка ориентирована на сорт «Голден», за эталон был принят его усреднённый цвет в RGB -модели: $RGB_{ид} = (220, 255, 200)$.

Каждое поступающее в систему изображение яблока обрабатывается для получения усреднённого значения цвета $RGB_p = (R_p, G_p, B_p)$ по маске плода. Далее рассчитывается евклидово расстояние между эталонным и реальным значением:

$$Dist_{RGB} = \sqrt{(R_p - 220)^2 + (G_p - 255)^2 + (B_p - 200)^2} \quad (13)$$

Чтобы сделать это значение пригодным для нечёткой оценки, оно нормируется по теоретически возможному максимуму $Dist_{max}$ – это расстояние от $(0, 0, 0)$ до $(220, 255, 200)$. Таким образом, получаем нормированную метрику цветового отклонения:

$$RN = \frac{Dist_{RGB}}{Dist_{max}} \in [0; 1] \quad (14)$$

Для нечёткой оценки RN введены три термина:

- «Соответствует» – минимальное цветовое отклонение,
- «Пограничное значение» – допустимое, но уже заметное отклонение,
- «Не соответствует» – отклонение от сорта выходит за границы допустимого.

Функции принадлежности описаны следующими выражениями:

Терм «Соответствует»:

$$\mu_c(RN) = \begin{cases} 1, & RN \leq 0.1 \\ 1 - 10(RN - 0.1), & 0.1 < RN < 0.2 \\ 0, & RN \geq 0.2 \end{cases} \quad (15)$$

Терм «Пограничное»:

$$\mu_{\Pi}(RN) = \begin{cases} 0, & RN \leq 0.1 \\ 10(RN - 0.1), & 0.1 < RN < 0.2 \\ 1, & 0.2 \leq RN \leq 0.3 \\ 1 - 10(RN - 0.3), & 0.3 < RN < 0.4 \\ 0, & RN \geq 0.4 \end{cases} \quad (16)$$

Терм «Не соответствует»:

$$\mu_{\text{НС}}(RN) = \begin{cases} 0, & RN \leq 0.3 \\ 10(RN - 0.3), & 0.3 < RN < 0.4 \\ 1, & RN \geq 0.4 \end{cases} \quad (17)$$

Графическая интерпретация приведённых функций принадлежности представлена на рисунке 6. Здесь прослеживается логика перехода между зонами: левая часть графика охватывает область, где цвет практически идентичен эталону, центральный сегмент соответствует допустимому отклонению, а правая часть сигнализирует о выходе параметра за пределы сортового стандарта.

Такой подход обеспечивает интерпретируемую и гибкую модель принятия решений при неустойчивых условиях освещения или вариативности поверхности плода. Благодаря линейным участкам и перекрывающимся термам, достигается необходимая степень нечёткости, отражающая реальную неоднозначность восприятия цвета в производственной среде.

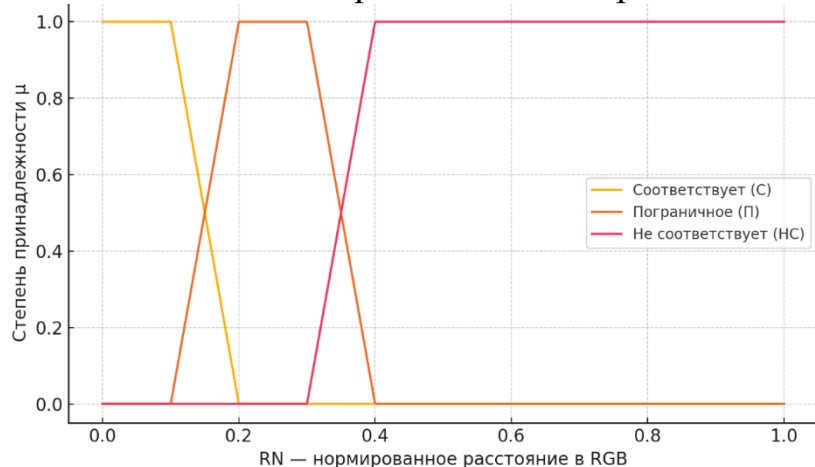


Рисунок 6. Функции принадлежности лингвистической переменной «С» – соответствие цвета плода эталону

Лингвистические переменные формы плода «F» и размера плода «S» рассматриваются аналогично.

В отличие от классических подходов к построению нечетких систем, где все правила имеют одинаковую значимость и обрабатываются параллельно, в разработанной модели реализована приоритетная (иерархическая) структура логических правил. Это означает, что система начинает проверку условий с наиболее значимых, например, высокой степени повреждения, и при выполнении соответствующего правила прекращает дальнейший анализ. Такой подход существенно повышает интерпретируемость модели, ускоряет процесс принятия решений и снижает количество необходимого для реализации правил. Кроме того, этажность логики позволяет формировать контекстные условия,

например, когда значения одних переменных становятся значимыми только в случае выполнения предварительных критериев.

Иерархическая структура логического вывода представляется в виде:

1. **Приоритет 1. Высокая степень повреждения.** Если $"D" = \text{"высокий"}$, то $\rightarrow$ «утиль». Это правило исключает все другие параметры из рассмотрения, поскольку сильное повреждение делает плод непригодным к использованию в любом виде.
2. **Приоритет 2. Несоответствие цвета при малом или среднем повреждении.** Если $"D" \in \{\text{малый, средний}\}$ и $"C" = \text{"не соответствует"}$, то $\rightarrow$ «корм животным». Такая логика обусловлена снижением потребительской привлекательности даже при удовлетворительном физическом состоянии.
3. **Приоритет 3. Оптимальное состояние (продажа/хранение).** Если $"D" \in \{\text{малый, средний}\}$, $"C" \in \{\text{соответствует, пограничное}\}$, $"F" = \text{"сферическая"}$, то $\rightarrow$ «продажа» или «хранение». Здесь ключевыми являются визуальные и геометрические параметры, отражающие стандарты товарного вида.
4. **Приоритет 4. Умеренное отклонение формы и/или размера при допустимых повреждениях.** Если $"D" \in \{\text{малый, средний}\}$, $"C" \in \{\text{соответствует, пограничное}\}$, $"F" \in \{\text{средняя, эллипсоидная}\}$, $S \in \{\text{средний, большой}\}$, то $\rightarrow$ «сок». Это правило допускает отклонения, если плод пригоден для переработки.
5. **Приоритет 5. Небольшой размер при допустимых отклонениях формы и цвета.** Если $"D" \in \{\text{малый, средний}\}$, $"C" \in \{\text{соответствует, пограничное}\}$, $"F" \in \{\text{средняя, эллипсоидная}\}$, $"S" = \text{"малый"}$, то $\rightarrow$ «пюре». Мелкие плоды с допустимыми признаками направляются в производство пюре – как форма минимизации потерь.

Подобная иерархизация особенно важна при высоком темпе сортировки, например, более 3–5 плодов в секунду, где время обработки критично. К тому же, такая структура позволяет легко расширять систему. Добавление новых правил не нарушает уже отлаженный логический скелет, а просто встраивается в соответствующий уровень.

Таблица 1. База правил для нечеткой логики

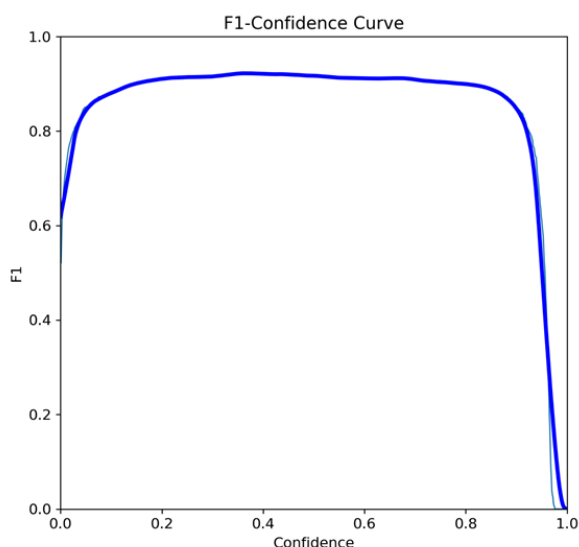
№	Степень повреждения (D)	Цвет (C)	Форма (F)	Размер (S)	Назначение	Q
1	Высокая	-	-	-	Утиль	0,12
2	Малая или средняя	Не соответствует	-	-	Корм животным	0,34
3	Малая	Соответствует или пограничный	Сферическая	-	Продажа / хранение	0,92
4	Малая или средняя	Соответствует или пограничный	Средняя или эллипсоидная	Средний или крупный	Сок	0,72
5	Средняя	Соответствует или пограничный	Средняя или эллипсоидная	Малый	Пюре	0,52

В таблице 1 представлены описания правил нечёткой системы, отражающие принятые в ней логические соотношения. Каждому правилу присвоено конкретное значение выходной переменной $Q \in [0;1]$, соответствующее одной из пяти категорий назначения плода: утиль, корм животным, пюре, сок, хранение/продажа.

Третья глава «Программная реализация интеллектуальной автоматизированной системы сортировки плодов» посвящена реализации комплексных алгоритмов (рисунок 1) анализа визуальной информации и принятия решений на основе искусственного интеллекта для автоматизации процесса сортировки.

Важным этапом создания интеллектуальной автоматизированной системы является выбор и обоснование модели СНС. Проведен сравнительный анализ современных нейросетевых архитектур, пригодных для решения задачи сегментации и отслеживания яблок в видеопотоке. Архитектура YOLOv11-seg демонстрирует оптимальное соотношение точности и скорости работы, адаптирована под задачу многокадрового сопровождения объектов, легко масштабируется и т.д.

Визуальный анализ метрик обучения и оценки модели на валидационном наборе позволяет сформировать обоснованную картину качества сегментации и трекинга. Графики изменения потерь по различным компонентам демонстрируют стабильное снижение, без расхождений между обучающей и проверочной выборками.



F1-мера, отражающая баланс между точностью (precision) и полнотой (recall), достигает максимального значения $\approx 0,92$ при пороге уверенности около 0,37 (рисунок 7). Это значение считается оптимальным и применяется при настройке системы в задачах, где одинаково важно минимизировать как пропуски объектов, так и ложные срабатывания. Ниже порога 0,2 резко падает точность, выше 0,8 – резко снижается полнота, что типично для моделей с высокой чувствительностью.

На этапе разработки модель YOLOv11-seg была интегрирована в программный модуль, предназначенный для анализа видеопотока с целью сегментации и трекинга яблок, а также последующего сохранения масок каждого объекта в виде отдельных изображений. Это приближает систему к реальному применению на производственной линии. Программа построена таким образом, что для каждого входного видео создаётся структурированное хранилище результатов. В этих папках

Рисунок 7. График зависимости F1 от порога уверенности (F1-Confidence Curve)

сохраняются PNG-изображения, содержащие сегментированные экземпляры яблок, вырезанные из каждого кадра на основе предсказанных масок. В зависимости от параметров, изображения могут быть сохранены либо на прозрачном фоне, либо на чёрном.

На рисунке 8 показан пример сохранённых изображений одного отслеженного яблока. Видно, что маска корректно отделяет объект от фона, даже в случае его вращения и частичного перекрытия бликами. Все изображения аккуратно выровнены, обрезаны и готовы для последующего анализа формы, текстуры или оценки дефектов.

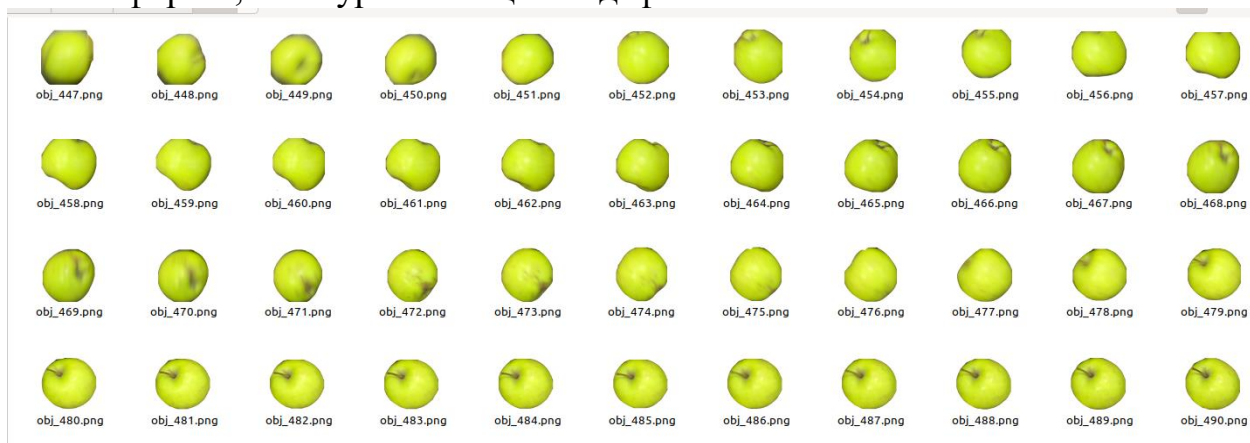


Рисунок 8. Логика обработки кадров: от трекинга до сохранения масок

Пример работы сверточной нейронной сети представлен на рисунке 9, где показан процесс детектирования поврежденных плодов на движущейся конвейерной ленте.

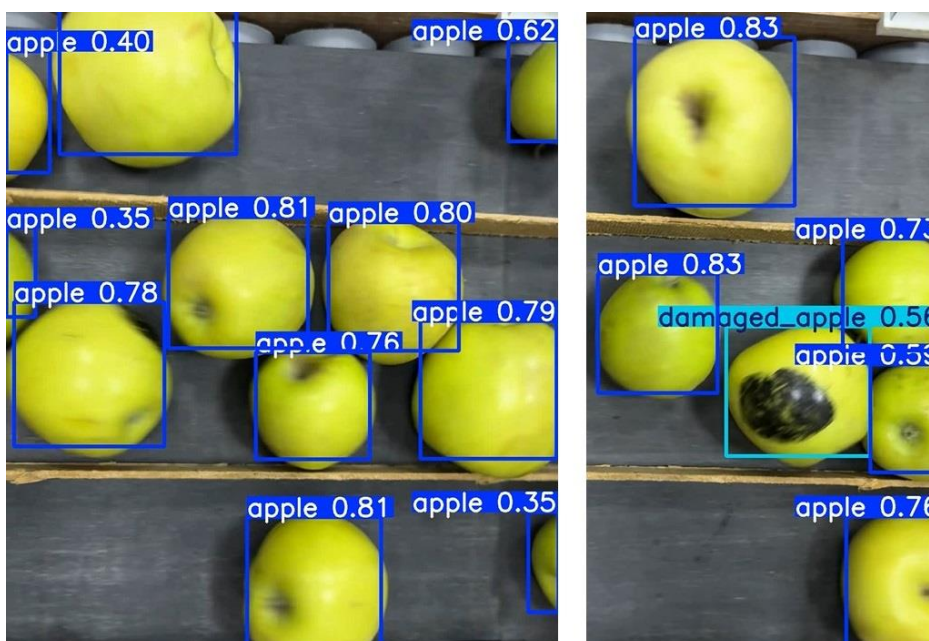


Рисунок 9. Пример работы сверточной нейронной сети для выявления поврежденных плодов

На заключительном этапе работы системы производится формирование выходных отчетов и визуализация данных, что позволяет не только оперативно

управлять процессом сортировки, но и анализировать эффективность функционирования системы (рисунок 10).

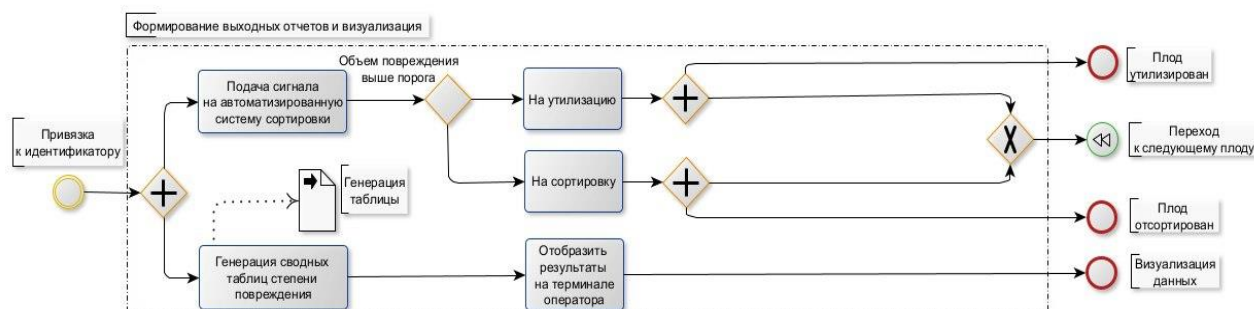


Рисунок 10. Подзадача «Формирование выходных отчетов и визуализация»

В четвертой главе «Экспериментальные исследования интеллектуальной автоматизированной системы сортировки плодов» разработаны методика и физическая модель для экспериментальных исследований автоматизированной системы. Экспериментальная проверка необходима для валидации заявленных, характеристик разработанной системы, оценки ее применимости в реальных условиях и выявления потенциальных ограничений. В частности, необходимо установить, насколько эффективно алгоритмы машинного обучения справляются с распознаванием дефектов в условиях естественной вариативности формы, цвета и текстуры плодов, а также разнообразия видов повреждений.

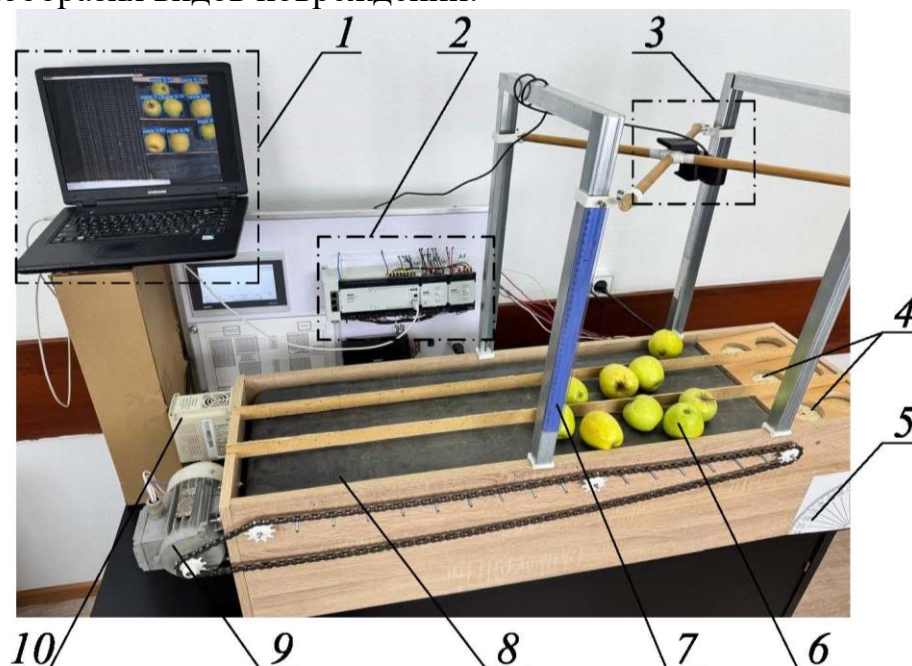


Рисунок 11. Физическая модель интеллектуальной управляющей системы оценки качества плодов: 1 – блок обработки и принятия решений; 2 – блок управления (программируемый логический контроллер); 3 – сенсорный блок (видеокамера); 4 – заслонки с позиционным приводом; 5 – средство измерения угла наклона транспортера; 6 – объект детектирования (плоды); 7 – средство измерения расстояния до камеры; 8 – ленточный транспортер; 9 – электродвигатель; 10 – частотный регулятор

Эффективность интеллектуальной автоматизированной системы сортировки плодов определяется комплексом факторов, связанных как с параметрами системы технического зрения, так и с характеристиками обрабатываемого продукта. Для выявления наиболее значимых факторов и оценки их влияния на точность работы системы был спланирован и проведен многофакторный эксперимент.

Таблица 2. План многофакторного эксперимента

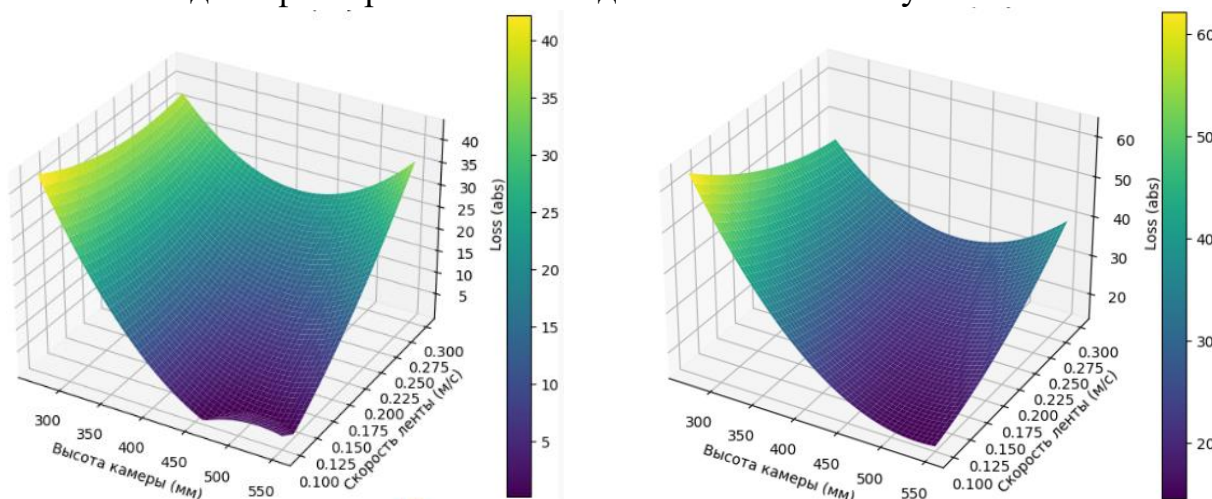
Характеристика	Высота камеры, h , м	$\bar{X}_1$	Скорость транспортера, v , м/с	$\bar{X}_2$	Угол наклона транспортера, α , град	$\bar{X}_3$
Верхний уровень $h_{max}, v_{max}, \alpha_{max}$	0,55	«+1»	0,3	«+1»	5	«+1»
Нижний уровень $h_{min}, v_{min}, \alpha_{min}$	0,27	«-1»	0,1	«-1»	15	«-1»
Основной уровень h_0, v_0, α_0	0,41	«0»	0,2	«0»	10	«0»
Интервал варьирования, $\Delta h, \Delta v, \Delta \alpha$	0,14	—	0,1	—	5	—

Наибольшее влияние на ошибку Loss определения качества плодов влияют расстояние h от камеры до объекта детектирования (плода), угол наклона α и скорость транспортера v , значения которых позволяют оптимизировать сбор данных, обработку изображений и принятие решений в реальном времени. При трех факторах и изменении их по трем уровням необходимо получить уравнение $Loss=f(h, v, \alpha)$. План трехфакторного эксперимента приведен в таблице 2.

Полученное регрессионное уравнение имеет вид:

$$Loos = 5 - 12,6\bar{X}_1 + 4,8\bar{X}_2 + 6\bar{X}_3 + 11\bar{X}_1\bar{X}_2 - 0,8\bar{X}_1\bar{X}_3 - 3,3\bar{X}_2\bar{X}_3 + 14,3\bar{X}_1^2 + 3,5\bar{X}_2^2 + 11,9\bar{X}_3^2. \quad (18)$$

Анализ коэффициентов регрессионного уравнения (18) позволяет оценить влияние каждого фактора и их взаимодействия на ошибку Loss.



а) б)
Рисунок 12. Поверхность отклика $Loss=f(h, v)$ при $\alpha = 5^\circ$ (а); $\alpha = 15^\circ$ (б)

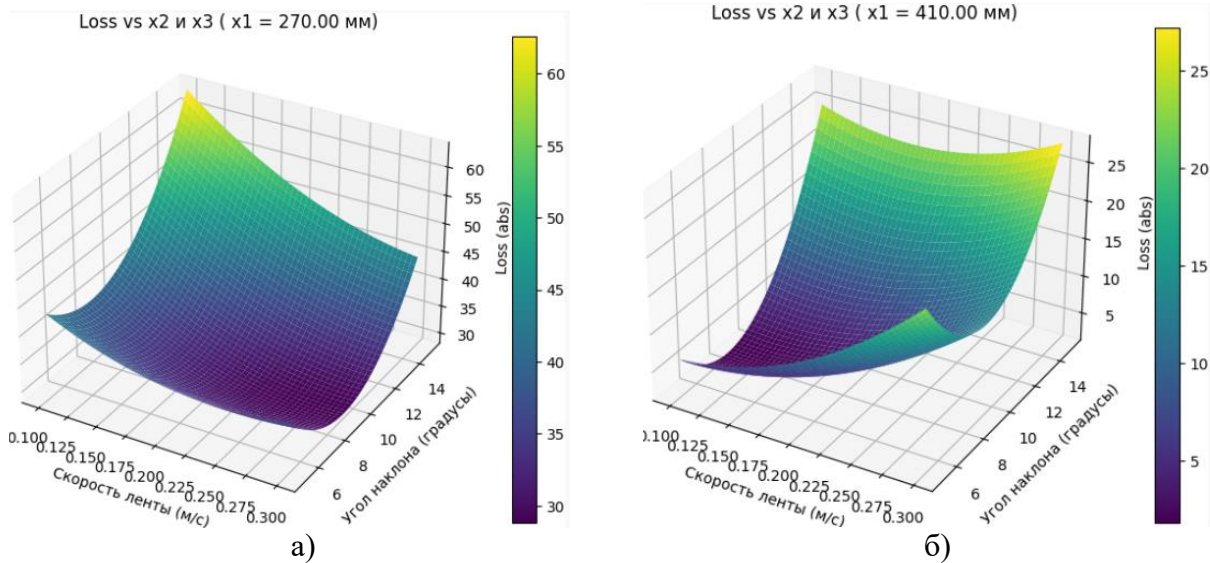


Рисунок 13. Поверхность отклика $Loss=f(v, \alpha)$ при $h = 270$ мм (а); $h = 410$ мм (б)

Коэффициент $-12,6$ указывает на сильное отрицательное влияние на выходной параметр. Увеличение высоты камеры приводит к значительному снижению ошибки $Loss$. Это связано с улучшением общего обзора яблок. Коэффициент $4,8$ указывает на умеренное положительное влияние. Увеличение скорости ленты приводит к увеличению ошибки. Более высокая скорость может затруднять процесс идентификации дефектов. Коэффициент 6 демонстрирует умеренное положительное влияние. Увеличение угла наклона приводит к увеличению значения $Loss$. Это объясняется быстрым вращением и линейным перемещением, что создает размытость и усложняет определение дефектов.

Анализ пространственных поверхностей отклика (рисунки 12 и 13) исследуемой зависимости показал, что наименьшее значение ошибки $Loss$ достигается, когда значение факторов $h = 410$ мм; $v = 0,1$ м/с; $\alpha = 10^\circ$.

Помимо точности, критически важным аспектом является производительность Q сортировочной линии. Увеличение скорости обработки яблок при сохранении приемлемого уровня точности позволит существенно повысить экономическую эффективность предприятия. Таким образом, задача оптимизации системы технического зрения сводится не только к минимизации ошибки, но и к достижению баланса между значениями $Loss$ и Q .

Производительность Q от угла α наклона и скорости v транспортера:

$$Q = 3600 \frac{nm_y}{L} \left(\sqrt{2Lg(\sin \alpha - M_{TP} \cos \alpha)} - v \right), \quad (19)$$

где m_y – масса одного яблока; L – длина конвейерной ленты; n – количество яблок; g – ускорение свободного падения; α – угол наклона транспортера; M_{TP} – коэффициент трения качения; v – скорость транспортера.

Результат моделирования показан в виде поверхности отклика $Loss=f(v, \alpha)$ на рисунке 14.

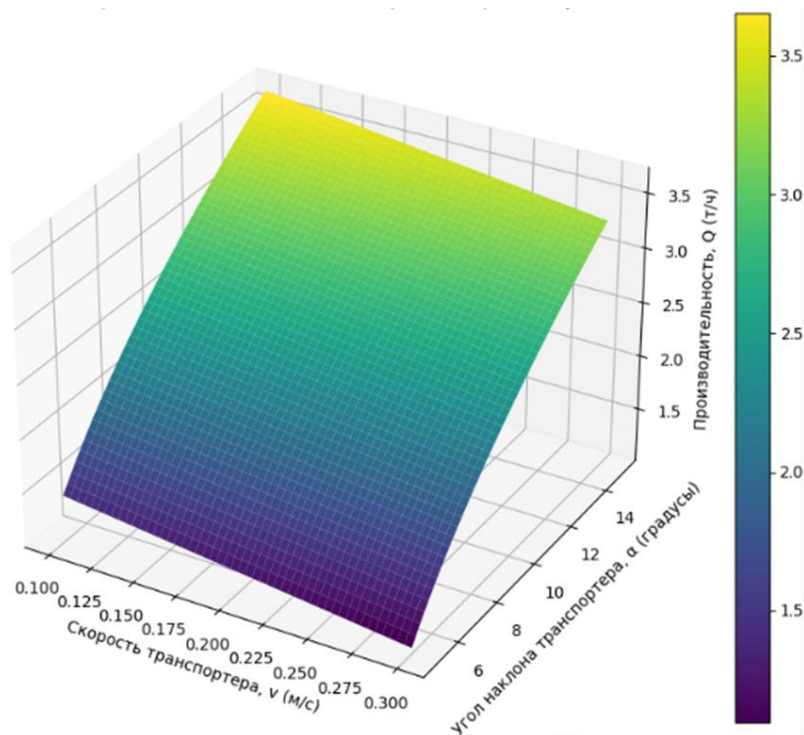


Рисунок 14. Результат моделирования зависимости $Q=f(v, \alpha)$

Установлено, что оптимальный режим работы системы достигается при высоте камеры $h = 400$ мм, скорости $v=0,15$ м/с и угла наклона $\alpha=12^\circ$ транспортера, что обеспечивает ошибку классификации $Loss < 15\%$ и производительность Q не менее 2,5 т/ч. Это позволяет достичь приемлемого уровня точности при существенно более высокой производительности, чем при использовании параметров, оптимизированных только для минимизации $Loss$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В диссертации решена актуальная научно-практическая задача повышения эффективности процесса автоматизированной сортировки яблок на переработку с использованием алгоритмов нечёткой логики и интеллектуальных методов обработки изображений, позволяющая, в том числе, снизить уровень субъективности и потерь в процессе первичного отбора продукции.

Основные научные и практические результаты исследований состоят в следующем:

1. Разработана математическая модель, связывающая площадь повреждения плода с его предполагаемым объемом. Установлено, что аппроксимация плода сферой, а повреждения – средним между полусферой и сектором, позволяет получить адекватную оценку объема повреждения на основе площади дефекта. Проведенное сравнение с эмпирическими данными показало, что предложенная модель обеспечивает точность оценки объема повреждения с отклонением не более 15% при условии, что относительная площадь повреждения k_5 не превышает 25.
2. Разработана модель нечеткой логики с приоритетной иерархией принятия решений для классификации яблок по категориям качества. Реализована процедура дефаззификации на основе модели Сугено нулевого порядка,

преобразующая нечеткие выходные значения в конкретные управляющие сигналы, обеспечивающая адекватность работы системы, что подтверждается соответствием полученных выходных значений итоговым решениям об отнесении плодов к определенной категории качества.

3. Разработана и реализована алгоритмическое обеспечение и программная часть интеллектуальной автоматизированной системы сортировки яблок. Выбрана и обучена сверточная нейронная сеть *YOLOv11-seg* для решения задачи сегментации яблок и выделения областей повреждений. Достигнута точность масочной сегментации 0,967, что подтверждает высокую эффективность выбранной архитектуры для поставленной задачи.
4. Разработана методика и создана экспериментальная модель системы, предназначенная для моделирования автоматизированной сортировки плодов. Установка позволяет изменять факторы, значимые для функционирования системы технического зрения и алгоритмов машинного обучения, а также обеспечивает сбор данных об основных характеристиках процесса.
5. Для достижения оптимального баланса между минимизацией ошибки классификации и максимизацией производительности предложено выделить область компромиссных решений. Установлено, что оптимальный режим работы системы достигается при высоте камеры $h = 400$ мм, скорости $v = 0,15$ м/с и угла наклона $\alpha = 12^\circ$ транспортера, что обеспечивает ошибку классификации $Loss < 15\%$ и производительность Q не менее 2,5 т/ч. Это позволяет достичь приемлемого уровня точности при существенно более высокой производительности, чем при использовании параметров, оптимизированных только для минимизации $Loss$.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

Для внедрения системы сортировки необходимо уделить внимание программной части: настройке базы данных, алгоритмов сегментации и правил нечёткой логики. Важным фактором является правильно организованное освещение, обеспечивающее стабильное качество изображений и точность классификации. Практическая реализация возможна на основе серийных камер, контроллеров и исполнительных механизмов.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Перспективы связаны с адаптацией системы для сортировки других видов плодоовощной продукции и совершенствованием алгоритмов сегментации и классификации, что позволит повысить точность и расширить сферу применения.

Список основных работ, опубликованных по теме диссертации:

Публикации в изданиях, включенных в Перечень ВАК РФ:

1. Каргин В.А., **Сохинов Д.Ю.**, Усанов К.М., Мокрушин С.А., Кротов И.В. Интеллектуальная автоматизированная система управления сортировкой фруктов // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2024. – Т. 71, № 2(55). – С. 100-106. DOI: 10.22314/2658-4859-2024-71-2-100-106.
2. **Сохинов Д.Ю.**, Каргин В.А., Назойкин Е.А., Кравченко Р.А. Интеллектуальная управляющая система для косвенной оценки объема повреждения плодоовощной продукции // Инженерный вестник Дона. – 2025. – № 8. – URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2025/10270> (дата обращения: 12.09.2025).
3. Каргин В.А., Кравченко Р.А., **Сохинов Д.Ю.**, Усанов К.М. Система интеллектуального контроля качества плодов в промышленном плодоовощеводстве // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2025. – Т. 72, № 1(58). – С. 90-96. DOI: 10.22314/2658-4859-2025-72-1-90-96.

Научные публикации в прочих изданиях:

4. **Сохинов Д.Ю.**, Сыч С.В., Тарола А.А., Пестова Е.В. Автоматизация сортировки фруктов с использованием технического зрения и алгоритмов машинного обучения // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий : Материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием, Саратов, 23 декабря 2024 года. – Саратов: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова", 2025. – С. 294-300.
5. **Сохинов Д.Ю.** Нейро-нечеткий подход к классификации яблок с учетом внешних дефектов // Автоматизированные системы управления биотехнологическими процессами : сборник научных докладов Всероссийской конференции с международным участием, Москва, 11 декабря 2024 года. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2025. – С. 299-303.
6. **Сохинов Д.Ю.**, Сыч С.В., Тарола А.А., Зудина Т.В. Разработка интеллектуальной системы сортировки пищевой продукции на основе технического зрения и сверточных нейронных сетей // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий : Материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием, Саратов, 23 декабря 2024 года. – Саратов: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова", 2025. – С. 300-306.
7. **Сохинов Д.Ю.** Экспериментальные исследования автоматизированной системы сортировки яблок на основе физической модели стенда // Автоматизированные системы управления биотехнологическими процессами : сборник научных докладов Всероссийской конференции с международным участием, Москва, 11 декабря 2024 года. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2025. – С. 304-308.

8. **Сохинов Д.Ю.**, Зудина Т.В., Тарола А.А., Пестова Е.В. Повышение эффективности процесса сортировки плодов применением алгоритмов нечеткой логики // Автоматизированные системы управления биотехнологическими процессами : сборник научных докладов Всероссийской конференции с международным участием, Москва, 11 декабря 2024 года. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2025. – С. 309-313.
9. **Сохинов Д.Ю.**, Пестова Е.В., Тарола А.А., Зудина Т. В. Автоматизированная идентификация гнили яблок на основе технического зрения и глубокого обучения // Автоматизированные системы управления биотехнологическими процессами : сборник научных докладов Всероссийской конференции с международным участием, Москва, 11 декабря 2024 года. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2025. – С. 313-317.
10. **Сохинов Д.Ю.**, Тарола А.А., Зудина Т.В., Пестова Е.В. Анализ современных методов и технических средств для автоматизированной оценки качества плодов // Автоматизированные системы управления биотехнологическими процессами : сборник научных докладов Всероссийской конференции с международным участием, Москва, 11 декабря 2024 года. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2025. – С. 317-321.
11. **Сохинов Д.Ю.**, Тарола А.А., Зудина Т.В., Пестова Е.В. Программная реализация алгоритма управления процессом сортировки яблок // Автоматизированные системы управления биотехнологическими процессами : сборник научных докладов Всероссийской конференции с международным участием, Москва, 11 декабря 2024 года. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2025. – С. 321-326.
12. **Сохинов Д.Ю.** Интеллектуальная система сортировки фруктов на базе технического зрения // Фабрика будущего: переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам для отраслей пищевой промышленности : сборник научных докладов V Международной конференции, Москва, 30 апреля 2024 года. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2024. – С. 313-318.
13. **Сохинов Д.Ю.** Применение сверточных нейронных сетей в интеллектуальной системе сортировки фруктов // Фабрика будущего: переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам для отраслей пищевой промышленности : сборник научных докладов V Международной конференции, Москва, 30 апреля 2024 года. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2024. – С. 318-323.
14. Каргин В.А., **Сохинов Д.Ю.**, Кишко В.В., Каверзин И.В. Разработка и оценка нейронной сети для оценки качества яблок // Современные проблемы автоматизации технологических процессов и производств : сборник научных докладов научно-практической конференции с международным участием, посвященной 100-летию со дня рождения Игоря Константиновича Петрова,

- Москва, 11 октября 2023 года. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2023. – С. 205-211.
15. Кравченко Р.А., Бею В.В., **Сохинов Д.Ю.**, Сармаев А.В. Выбор программируемых управляющих устройств для автоматизации процессов пищевого производства // Фабрика будущего: переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам для отраслей пищевой промышленности : Сборник научных докладов IV Международной специализированной конференции-выставки, Москва, 26 апреля 2023 года. – Москва: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)», 2023. – С. 238-243.
16. **Сохинов Д.Ю.**, Кравченко Р.А., Кишко В.В. Анализ роботизированных систем для сортировки плодов на пищевом производстве // Актуальные проблемы энергетики АПК : Материалы XIV Национальной научно-практической конференции с международным участием, Саратов, 28 апреля 2023 года / Под общей редакцией С.М. Бакирова. – Саратов: Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, 2023. – С. 271-277.
17. **Сохинов Д.Ю.**, Кишко В.В., Каверзин И.В., Сармаев А.В. Анализ и выбор нейронной сети для оценки качества яблок // Современные проблемы автоматизации технологических процессов и производств : сборник научных докладов научно-практической конференции с международным участием, посвященной 100-летию со дня рождения Игоря Константиновича Петрова, Москва, 11 октября 2023 года. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2023. – С. 297-301.
18. **Сохинов Д.Ю.**, Кравченко Р.А., Кишко В.В., Борисевский А.М. Основные рыночные решения искусственного интеллекта для реализации процесса обучения нейронных сетей // Интеллектуальные автоматизированные управляющие системы в биотехнологических процессах : сборник докладов всероссийской научно-практической конференции, Москва, 29 марта 2023 года. – Москва: Российский биотехнологический университет; ЗАО «Университетская книга», 2023. – С. 300-306.
19. Каргин В.А., **Сохинов Д.Ю.**, Кишко В.В., Сыч С.А. Оценка перспектив использования роботизированных систем для сортировки фруктов // Инновационное техническое обеспечение агропромышленного комплекса : Материалы научно-технической конференции с международным участием имени А.Ф. Ульянова, Саратов, 03 октября 2023 года. – Саратов: Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, 2023. – С. 308-313.
20. **Сохинов Д.Ю.**, Кравченко Р.А., Кротов И.В. Роботизированные системы для сортировки фруктов в пищевой промышленности // Повышение эффективной эксплуатации электрооборудования в сельском хозяйстве : Материалы I Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко, Саратов, 22 декабря 2023

- года. – Саратов: Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, 2023. – С. 339-343.
21. **Сохинов Д.Ю.**, Кравченко Р.А., Логачева О.В. Рекомендации по подготовке dataset для машинного обучения // Роговские чтения : сборник докладов научно-практической конференции с международным участием, Москва, 16 декабря 2022 года. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2023. – С. 368-373.
22. **Сохинов Д.Ю.**, Волынский Е.В., Курбанов А.Р. Методы оптимизации процесса сортировки яблок с использованием программных и аппаратных средств // Роговские чтения. Секция "Автоматизация технологических процессов и производств»: сборник докладов научно-практической конференции с международным участием, Москва, 30 ноября 2023 года. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2023. – С. 393-399.
23. **Сохинов Д. Ю.**, Казарин С.А., Резенов Е.Р. Использование нейронной сети для сортировки и упаковки продукции пищевой промышленности // Роговские чтения. Секция "Автоматизация технологических процессов и производств»: сборник докладов научно-практической конференции с международным участием, Москва, 30 ноября 2023 года. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2023. – С. 400-405.
24. Каргин В.А., Кишко В.В., Усанов К.М., **Сохинов Д.Ю.** Результаты создания интеллектуальной системы с использованием нейросетевых технологий для оценки качества яблок при сортировке // Вавиловские чтения - 2022 : Сборник статей Международной научно-практической конференции, посвященной 135-й годовщине со дня рождения академика Н.И. Вавилова, Саратов, 22–25 ноября 2022 года. – Саратов: Общество с ограниченной ответственностью "Амирит", 2022. – С. 710-715.