

На правах рукописи



БАРАНОВА ИРИНА АНДРЕЕВНА

**БИОЛОГИЧЕСКИЕ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ
АСПЕКТЫ ПРОИЗВОДСТВА КУРИНЫХ ЯИЦ, ОЦЕНКА ИХ
ФИЗИЧЕСКИХ, МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И
ИНКУБАЦИОННЫХ КАЧЕСТВ**

Специальность:

4.2.4 Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и
производства продукции животноводства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора сельскохозяйственных наук

Ижевск – 2026 г.

Работа выполнена на кафедрах «Технология переработки продукции животноводства» и «Электротехника и автоматика» ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный аграрный университет»

Научный консультант: **Батанов Степан Дмитриевич,**
доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры «Технология переработки продукции животноводства» ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный аграрный университет»

Официальные оппоненты: **Салеева Ирина Павловна,**
доктор сельскохозяйственных наук, профессор РАН, член-корреспондент РАН, специалист научного центра ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»

Осепчук Денис Васильевич,
доктор сельскохозяйственных наук, доцент, директор ФГБНУ «Краснодарский научный центр по зоотехнии и ветеринарии» (ФГБНУ КНЦЗВ)

Темираев Рустем Борисович,
доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры «Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции» ФГБОУ ВО «Горский государственный аграрный университет»

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» (ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН)

Защита диссертации состоится «28» декабря 2026 г. в 10⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета 35.2.015.01, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова», по адресу: 360030, г. Нальчик, проспект Ленина, 1 в.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в научной библиотеке университета и на официальных сайтах ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ <https://kbgau.ru> и ВАК РФ <https://vak.gisnauka.ru>.

Автореферат разослан «__» _____» 2026 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,

д.биол.н., профессор

Кожоков Мухамед Кадирович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследований. Россия на современном этапе развития находится в состоянии фундаментальных преобразований, обусловленных изменениями технологий, модернизацией экономики общественного хозяйства, производства, производственных отношений, производительных сил, а также политических и социальных отношений. В связи с этим одним из главных позитивных направлений развития можно считать последовательное стремление российских предприятий улучшить свои производственно-экономические показатели за счет реформирования систем организации и управления технологическими процессами.

В рамках государственной программы от 29 марта 2019 г. № 377 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Научно-технологическое развитие Российской Федерации»» одной из приоритетных целей является эффективная организация и технологическое обновление научной, научно-технической и инновационной (высокотехнологичной) деятельности. В связи с этим целесообразно проводить и актуальными являются исследования по совершенствованию существующих и разработке инновационных технологий в области селекции, воспроизводства и кормления сельскохозяйственной птицы на основе математического, компьютерного моделирования с применением цифровых информационных технологий.

Продуктивное животноводство и птицеводство являются одним из перспективных направлений развития АПК. При системном подходе и внедрении инновационных технологий – это высокорентабельный, динамично развивающийся аграрный бизнес. Климат, большие площади сельхозугодий, значительная емкость рынка продукции животноводства и птицеводства, а также высокий спрос перерабатывающих предприятий – все это факторы, которые создают благоприятные условия для успешного развития животноводческой отрасли.

По оценке ФАО ООН и ОЭСР, численность населения в мире к 2050 г. достигнет 9,7 млрд. Это потребует наращивания объема производства сельскохозяйственной продукции на 60-70% по сравнению с 2000-ми годами. В рамках ведомственного проекта «Цифровое сельское хозяйство» Минсельхозом России разработана национальная платформа цифрового государственного управления сельским хозяйством – «Цифровое сельское хозяйство». Для цифровизации животноводческих и птицеводческих предприятий необходимо создать условия на федеральном и региональном уровнях и разработать нормативно-правовую и техническую поддержку предприятий. Внедрение разрабатываемых технологий обеспечит снижение уровня импортозависимости отрасли на 35...40%, повышение качества и количества производимой продукции на 25...30%, сохранение здоровья и повышение продуктивности животных на 15...20%, повышение производительности труда в основных подотраслях животноводства в 1,5...2 раза, сокращение издержек производства на 35...40%. Значительный вклад в решение этой задачи может внести

цифровизация сельского хозяйства, в частности животноводства и птицеводства.

Применение современных управленческих технологий, построенных на цифровых моделях организации сельскохозяйственных производств, становится неотъемлемой частью современного аграрного сектора России. Цифровизация агробизнеса позволяет получать наиболее полную информацию для усовершенствования использования материальных и биологических ресурсов, ускорение селекционного процесса и снижения себестоимости продукции. Системы для получения и обработки информации включают датчики, оборудование для коммуникации, хранения и агрегирования информации, различные аналитические блоки для повышения эффективности управления технологическими процессами.

Степень разработанности темы. Анализ хозяйственно-биологических показателей сельскохозяйственной птицы разных генетических групп, разработка инновационных технологических решений направленных на интенсификацию развитие отрасли птицеводства, производство яиц и мяса птицы с высокими показателями качества, включающих в себя организацию и управление производственными процессами, использование современных программ селекции, а также комплексное изучение особенностей роста, развития и экстерьерных особенностей молодняка и кур яичных кроссов, анализ генетических аспектов формирования яичной продуктивности и качественных параметров яиц отражены в научных трудах отечественных и зарубежных ученых, таких как: П. П. Царенко, Л. Т. Васильева (2009), А. Л. Штеле, А. К. Османян. Г. Д. Афанасьев (2011), А. Л. Штеле (2013), Г. А. Бобылева (2014), Б.Ф. Бессарабов (2015). В. И. Фисинин (2016), Е. Э. Епимахова, Н. В. Самокиш, Б. Т. Абилов (2017), В. П. Агафонов, В.Н. Махонин (2018), Л. Ф. Дядичкина (2018), И. И. Кочиш, В. И. Смоленский, В. И Щербатов (2018), Е. А. Рехлецкая, А. Б. Дымкова, Л. Н. Лазарец. А. Б. Мальцев (2021), Л. А. Игнатович (2021), А. Ш. Кавтарашвили (2021), С. Toksoz, M. Albayrak, H. Yasar (2021), А. В. Буяров (2024), С. Д. Батанов (2024), Е. Б. Татлыбаева, А. Г. Мусин, Р. Р. Гадиев (2025).

Изучению морфологического состава и морфометрических параметров пищевых и инкубационных яиц посвящены многочисленные исследования и научные работы отечественных и зарубежных авторов Б.Ф. Бессарабов (2015), В. Бурдашкина (2012), Л.Ф. Дядичкина и др. (2009) С. Лескова (2000), О.И. Станишевская (2008), В.И. Фисинин и др. (2008), П.П. Царенко и др. (2012), S.S. Abiola и др. (2008), Е. Э. Епимахова и др. (2020). Влиянию отдельных морфофизических качеств яиц на результаты инкубации, посвящено множество научных работ Н. Колобова (1972), С. Лескова (2000), О.И. Станишевская (2009), П. П. Царенко и др. (2016), S.S. Abiola (2008), J.G. Almeida и др. (2008), Elibol O. и др. (2006) I. Reijrink, и др. (2008), С.Д. Батанов др. (2023; 2024). Значительный вклад в разработку параметров отбора и дифференцированного режима инкубации куриных яиц, а также методов и приемов, способствующих повышению вывода цыплят, внесли В.И. Щербатов (2007; 2015), Л.Ф.

Дядичкина (2010), Г.М. Курова (1986), П.П. Царенко (2016), Н. Willemssen (2010), I. Reijrink и др. (2007), С.Д. Батанов (2024). Однако, нами не найдены сведения о влиянии комплекса морфофизических качеств яиц на продолжительность и синхронизацию вывода.

Научные исследования по разработке, внедрению и использованию цифровых технологий в животноводстве России отражены в научных трудах отечественных и зарубежных ученых Ю.А. Иванов (2005; 2019; 2025), Е.Н. Тюреноква (2013, 2014), С.Д. Батанов (2019; 2022; 2025) Л.Н. Захарова (2020), М.М. Чернякова (2021), Н.М. Сурай и др. (2021), Кирсанов В.В. (2022), И.К. Шульгин и др. (2022), О.В. Косенчук и др. (2022), В.Т. Водяников и др. (2023), В.И. Трухачева и др. (2023), Е.А. Яшкова и др. (2022), В.М. Стародубцев (1973), Г.М. Туников (1987), Л.И. Кибкало (2014), И.М. Дунин (1994), Н.И. Стрекозов (2008), А.В. Востроилов (1998), Х.А. Амерханов (2001), И.Н. Янчуков (2011), С.А. Данкверт (1999), Г.М. Джапаридзе (2013), Ju. H. So. и др. (2022), V.M. Nakaguchi и др. (2022), К.К. Çevik (2022), Michael Kjelland и др. (2012), Supakorn Harnsoongnoen и др. (2021), K. Pavedan и др. (2025), Sema Alasahan и др. (2014).

Российские ученые и специалисты ведут разработку и проектирование автоматизированных систем для АПК. Определенный вклад в исследование процессов автоматизации технологии производства продукции животноводства внесли следующие ученые: Д. А. Абдрахимов (2024; 2025), О. А. Иващук (2025), Д. В. Барабанов и др. (2024), О.Н. Дидманидзе (2012; 2025), С.Н. Девянин (2022), Н.Н. Пуляев (2023), А.А. Манохина (2024), О.А. Леонов (2021), А.С. Дорохов (2025), Н.В. Алдошин (2020), М.А. Керимов и др. (2023; 2024), А. А. Жигалов и др. (2023), С. С. Рузин и др. (2021), Е. В. Худякова и др. (2023), В.В. Кирсанов (2021), И. В. Понкин И. В. и др. (2024) и другие.

Удовлетворение потребности растущего населения в мире и спрос на высококачественную продукцию возможно путем разработки и внедрения инновационных технологий в животноводстве с использованием автоматизированных систем и цифровых решений.

Несмотря на многочисленные публикации по разработке различных элементов ИТ, реализующих математические методы для совершенствования технологических процессов в животноводстве и птицеводстве в настоящее время отсутствует теоретическое и практическое обоснование использования цифровых технологии при оценке качественных параметров куриных яиц и определение степени пригодности их к инкубации, повышению биологической и экономической эффективности использования племенных ресурсов.

Цель исследований:

- анализ технологии производства инкубационных яиц, комплексная оценка яичной продуктивности и качества яиц кур разных генетических групп, определение биологической ценности и биологической эффективности использования птицы яичных кроссов;
- разработка аппаратно-программного комплекса и технологической установки по оценке и отбору яиц для инкубации, управления и автоматизации

процесса сексирования домашней птицы по параметрам прогнозирования половой принадлежности;

- экономическая оценка использования яичных кур разных генетических групп и инновационных разработок по воспроизводству поголовья и производству продукции птицеводства.

Задачи исследований:

- анализ технологии кормления и содержания ремонтного молодняка и кур-несушек, сбор и сортировка яиц;

- анализ паратипических факторов, влияющих на уровень реализации продуктивного потенциала, а также наследственных характеристик сельскохозяйственной птицы и определение ее биологического потенциала;

- определение взаимосвязи морфологических измерений, формы и массы яйца с генотипическими и фенотипическими характеристиками кур;

- определение морфологического состава инкубационных яиц (абсолютная и относительная масса отдельных частей яиц и их качественная характеристика), показатель плотности белковых фракций (ППФ), пигментация скорлупы;

- определение параметров морфометрических и биофизических показателей инкубационных яиц и связь их с выводимостью;

- разработка метода вычисления индекса формы яйца и определение пола цыплят в ранний период развития эмбриона на стадии до начала инкубации яиц;

- разработка программы, адаптированная под ОС Windows эффективного отбора инкубационных яиц и управлению процессом сексирования яиц по половой принадлежности;

- разработка технологической схемы производственной линии сортировки яиц и расчет технических параметров;

- экономическая оценка использования яичных кур разных генетических групп и инновационных разработок по воспроизводству поголовья и производству продукции птицеводства.

Научная новизна. Научная новизна работы заключается в том, что впервые в сравнительном аспекте проведены исследования по изучению роста, развития и яичной продуктивности кур-несушек различных генетических групп и определены наиболее эффективные кроссы для производства племенного и пищевого яйца.

Обосновано использование инновационного подхода распознавания структурных элементов без разрушения целостности инкубационных яиц, их качественное состояние, определение величины и месторасположение воздушной камеры, и их влияние на выводимость яиц, распознавание оплодотворенных яиц, оценка качества и фертильности эмбриона.

Выявлены взаимосвязи биологических особенностей формирования оплодотворенных яиц с разными морфологическими характеристиками и половой принадлежности на стадии развития в половых органах курицы.

Установлен комплексный подход к оценке сельскохозяйственной птицы по племенной ценности и продуктивным качествам, определение морфометрических и биофизических параметров инкубационных яиц.

Разработан метод прогнозирования половой принадлежности цыпленка по количественным и качественным признакам инкубационного яйца с использованием технологий компьютерного зрения с глубоким обучением нейронных сетей.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость работы заключается в том, что работа вносит определенный вклад в изучение особенностей технологии в яичном птицеводстве, эффективного использования технологического оборудования и анализа вопроса использования различных кроссов кур в производстве племенного яйца, а также в расширении знаний в области промышленного птицеводства, определения параметров телосложения молодняка и кур-несушек, и качественных показателей яичной продуктивности.

Практическая значимость работы заключается в том, что предложены инновационные методы и разработаны автоматизированные приемы изучения закономерностей изменения качества и выявления взаимосвязей между морфометрическими, морфологическими и физико-химическими показателями яиц кур. По результатам проведенных исследований разработана и создана автоматизированная системы отбора яиц для инкубации и аутосексинга на ранней стадии развития эмбриона. Это позволит более эффективно вести оценку, сортировку и отбор пищевых и инкубационных яиц, контролировать технологические условия и оперативно устранять причины, повлиявшие на изменение данных свойств.

Предложенные разработки будут способствовать повышению производительности труда, соблюдению принципов гуманного отношения к животным в условиях промышленного производства, увеличению производства высококачественной продукции животного происхождения отечественного производства с низкой себестоимостью.

Методология и методы исследования. Методологической основой для постановки цели работы и определения задач исследований были научные положения отечественных и зарубежных ученых, занимающихся совершенствованием существующих и разработкой новых методов повышения и качественного улучшения яичной продуктивности сельскохозяйственной птицы (кур).

При проведении научно-хозяйственных и лабораторных опытов использованы общие методы научного познания, современные зоотехнические, физико-химические, биохимические методы исследования. Для обработки экспериментальных данных использовались статистические, математические и экономические методы анализа, позволяющие обеспечить объективность полученных результатов.

Для разработки системы по оценке морфометрических и физических параметров яиц используется междисциплинарный подход, сочетающий

методы машинного обучения, компьютерного зрения и статистического анализа. Основной акцент делается на разработке сверточных нейронных сетей (CNN) для автоматической оценки яиц. Для оценки результатов применяются статистические методы, позволяющие определить показатели точности, чувствительности, специфичности и другие метрики, что обеспечивает объективность оценки эффективности системы. Также используются математические методы для определения оптимальной архитектуры нейронной сети и настройки гиперпараметров модели, что позволяет повысить точность распознавания и снизить вероятность ошибок. Важным элементом является использование методов подтверждающей статистики – кросс-валидации, оценки доверительных интервалов и анализа повторяемости результатов, что обеспечивает достоверность и репрезентативность полученных данных.

Положения, выносимые на защиту:

- обоснование технологии кормления и содержания ремонтного молодняка и кур-несушек, сбор и сортировка яиц;
- яичная продуктивность, качество инкубационных яиц, результаты инкубации яиц наследственно обусловлены и зависят от генетических особенностей кур-несушек;
- принадлежность к различным генетическим группам влияет на роста и развитие молодняка кур, формирование яичной продуктивности, качественных параметров яиц и динамики их в разные продуктивные периоды;
- морфологические измерения, форма и масса, пигментация скорлупы пищевых и инкубационных яиц взаимосвязаны с генотипическими и фенотипическими характеристиками кур;
- параметры морфометрических и биофизических показателей инкубационных яиц влияют на их с выводимостью и вывод цыплят;
- разработанные методы вычисления индекса формы яйца и определение пола цыплят в ранний период развития эмбриона на стадии до начала инкубации яиц;
- разработанная программа, адаптированная под ОС Windows повышает эффективность отбора инкубационных яиц и управление процессом сексирования яиц по половой принадлежности;
- инновационная технология на основе аппаратно-программного комплекса и технологической установки для управления процессом оценки и отбора яиц пригодных к инкубации и сексирования домашней птицы по параметрам прогнозирования половой принадлежности;
- результаты оценки экономической и биологической эффективности использования яичных кур разных генетических групп и технико-экономической эффективности применения инновационных разработок по воспроизводству поголовья и производству продукции птицеводства.

Реализация результатов исследований. Результаты проведенных исследований используются в учебном процессе вузах: ФГБОУ ВО Удмуртский ГАУ. Установка по оценке качества и сортировке по половой принадлежности яиц апробирована на предприятиях в ООО «Племптицесовхоз

«Увинский», поселок Ува, Удмуртская Республика, ООО «Сарапульская птицефабрика», город Сарапул, Удмуртская республика.

Степень достоверности и апробация результатов. Основные положения и результаты исследований доложены и получили одобрение на: Международная научная конференция «Агритех-2019: агробизнес, экологическая инженерия и биотехнологии» (г. Красноярск, 2019), Международная конференция «Информационные технологии в бизнесе и промышленности» (г. Новосибирск, 2019), Международная научно-практическая конференция «Научные инновации в развитии отраслей АПК», г. Ижевск, 2020), Международная научно-практическая конференция «Научные разработки и инновации в решении стратегических задач агропромышленного комплекса» (г. Ижевск, 2022), Международная научно-практическая конференция «Перспективы развития аграрных наук Agrosience-2022» (г. Чебоксары, 2022), Международная конференция «устойчивое развитие: сельское хозяйство, ветеринарная медицина и экология» (г. Карши, Республика Узбекистан, 2023), Международная научно-практическая конференция «От модернизации к быстрому развитию: обеспечение конкурентоспособности и научного лидерства агропромышленного комплекса» (г. Екатеринбург, 2024), III Национальная научно-практическая конференция с международным участием имени Г.П. Ерошенко «Актуальные проблемы энергетики АПК» (г. Саратов, 2025), Национальная научно-практическая конференция с международным участием «Совершенствование инженерно-технического обеспечения производственных процессов и технологических систем» (г. Оренбург, 2026), Международная студенческая научная конференция «Актуальные проблемы сельского хозяйства: цифровизация, экологизация, основы органического растениеводства и животноводства» (г. Нальчик, 2026).

Научно-исследовательская работа выполнена в соответствии с тематическим планом научных исследований кафедр зооинженерного факультета и факультета энергетики и электрификации ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный аграрный университет» (номер государственной регистрации 01201454394 «Разработка селекционных и технологических методов интенсификации животноводства, номер государственной регистрации ААА-А19 – 119012190023-1 «Исследование и разработка энергосберегающих электротехнологий и энергоэффективного электрооборудования для АПК») и заявкой на проведение научно-хозяйственного эксперимента поступившей от руководства ООО «Племптицесовхоз «Увинский» п. Ува и ООО «Сарапульская птицефабрика» г. Сарапул Удмуртская Республика.

Диссертация Барановой И.А. является завершённой научно-квалификационной работой выполнена в комплексе при решении задач гранта Российского научного фонда № 23-26-00184 2023-2024 гг. «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований малыми отдельными научными группами» на тему «Новые подходы в разработке и обосновании методов и алгоритмов повышения уровня

эффективности воспроизводства сельскохозяйственной птицы» по направлению «Переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта».

По результатам проведенных научных исследований были получены патенты на изобретения: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018662028 Российская Федерация. Программа регулирования освещенности для птицеводческих помещений: № 2018615277: заявл. 25.05.2018: опубл. 25.09.2018 / И. А. Баранова, Т. А. Широбокова, С. Д. Батанов; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ижевская государственная сельскохозяйственная академия»; патент № 2764307 С1 Российская Федерация, МПК А01К 67/00, А01К 67/02. Способ определения комплексного индекса телосложения и экстерьерно-конституционального типа животных: заявл. 29.12.2020: опубл. 17.01.2022 / С. Д. Батанов, И. А. Баранова, О. С. Старостина; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Ижевская государственная сельскохозяйственная академия"; патент № 2769731 С2 Российская Федерация, МПК А01К 11/00. Способ определения числовых значений экстерьера животных: № 2020127145: заявл. 12.08.2020: опубл. 05.04.2022 / С. Д. Батанов, И. А. Баранова, О. С. Старостина; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Ижевская государственная сельскохозяйственная академия"; патент № 2806290 С1 Российская Федерация, МПК А01К 67/00, А01К 67/02. Способ определения морфометрических параметров яиц: № 2023126322: заявл. 13.10.2023: опубл. 31.10.2024 / С. Д. Батанов, И. А. Баранова, О. С. Старостина, Анаников Я.Г., Шкарупа Е.И., Анаников Г.Ф.; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Удмуртский государственный аграрный университет"; свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025661668 Российская Федерация. Программа регулирования микроклиматом в инкубационной камере: заявл. 22.04.2025: опубл. 12.05.2025 / И. А. Александров, Т. А. Широбокова, И. Г. Пospelova [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Удмуртский государственный аграрный университет».

Публикации результатов исследований. Материалы диссертации изложены в 26 печатных работах, в том числе: 13 статей опубликовано в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 5 публикаций в журнале, индексируемом в международных базах данных Scopus и Web of Science. По результатам работы получено 5 объектов интеллектуальной собственности: 3 патента на изобретение: № 2764307 С1, МПК А01К 67/00, А01К 67/02, № 2769731 С2, МПК А01К 11/00, № 2806290 С1, МПК А01К 67/00, А01К 67/02 и 2 свидетельства о государственной регистрации

программы для ЭВМ: № 2018662028, № 2025661668. На выставке «Золотая осень» получены награды: диплом и серебряная медаль, диплом и золотая медаль.

Структура и объем работы. Диссертация изложена на 445 страницах, состоит из введения, основной части, содержащей 35 рисунков, 71 таблицу, заключения, списка литературы (включает 327 наименования, в том числе 105 – на иностранном языке) и 3 приложений.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Выражаем глубокую признательность руководителям, специалистам и работникам птицеводческих предприятий Удмуртской Республики: ООО «Племптицесовхоз «Увинский» Увинского района и ООО «Сарапульская птицефабрика» Сарапульского района:

***Шкарупе Евгению Ивановичу** – директор ООО «Племптицесовхоз «Увинский»*

***Ананикову Гаврилу Федоровичу** – директор ООО «Сарапульская птицефабрика»*

***Марковой Татьяне Васильевне** – зам. директора по племенной работе ООО «Племптицесовхоз «Увинский»*

***Журиной Елене Борисовне** – гл. ветеринарный врач ООО «Племптицесовхоз «Увинский»*

***Давыдовой Екатерине Александровне** – гл. зоотехник ООО «Сарапульская птицефабрика»*

а также

***Борулько Вячеславу Григорьевичу** - доктор технических наук, доцент РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева.*

за предоставленную возможность проведения научных исследований на базе предприятий. Благодарю Вас за организационное содействие, обеспечение доступа к необходимым аналитическим материалам, предоставление производственных данных, поддержку научно-практических изысканий и профессионально-консультационное сопровождение при разработке методик и организации научного эксперимента.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении сформулирована цель и задачи исследования, обоснована актуальность проблемы и доказана возможность повышения продуктивности кур за счет совершенствования технологии производства инкубационных яиц, комплексной оценки яичной продуктивности и качества яиц кур разных генетических групп, а также разработки аппаратно-программного комплекса для автоматизации процессов сортировки и сексирования. Указана научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, отражены вопросы реализации и апробации полученных научных результатов, дана общая

характеристика выполненных исследований, а также основные положения диссертационного исследования, выносимые на защиту.

В первой главе «Анализ состояния вопроса. Цель и задачи исследований» проведен анализ состояния вопроса и тенденций развития современных методов, технических средств обеспечения производства продукции птицеводства, указаны их недостатки, намечены задачи и пути исследования.

Анализ научных работ показал, что до настоящего времени не всегда соблюдаются нормативы по обеспечению параметров качества инкубационных яиц и эффективности их использования из-за недостаточного изучения влияния генотипических и паратипических факторов на продуктивные и репродуктивные качества птицы, особенно в условиях интенсивного промышленного птицеводства.

Анализ литературных источников показал, что генетический потенциал современных яичных кроссов позволяет достигать высокой яйценоскости (330–350 яиц и более за продуктивный период), однако его реализация лишь на 15% зависит от генотипа и на 85% – от факторов внешней среды, включая условия кормления, содержания и микроклимата.

Установлено, что направленное выращивание ремонтного молодняка подразделяется на три ключевых периода (0–8, 8–13 и 13–20 недель), при этом живая масса в 5-недельном возрасте имеет высокую корреляцию с последующей продуктивностью (коэффициент корреляции 0,94) и сохранностью поголовья. Кормление сельскохозяйственной птицы составляет 45–55% в структуре себестоимости продукции, а рациональное нормирование рационов (стартовый, ростовой, предкладковый и кладковый типы) в сочетании с оптимизацией световых режимов и параметров микроклимата является определяющим фактором для раскрытия биологического потенциала.

Анализ современного состояния цифровизации птицеводства показал, что отрасль движется к концепции точного птицеводства, базирующейся на системах управления производством (1С: ERP, «КурКод»), технологиях интернета вещей (IoT) для мониторинга микроклимата, роботизированных комплексах и искусственном интеллекте. Технологии искусственного интеллекта и компьютерного зрения позволяют осуществлять раннюю диагностику заболеваний, контроль текущего состояния и благополучия птицы, а также методы неразрушающего анализа для оценки качества продукции. Внедрение прогнозной аналитики и концепции цифровых двойников открывает возможности для перехода от реактивного к превентивному управлению производственными процессами.

Обобщая аналитический материал, можно утверждать, что, несмотря на значительное число фундаментальных и прикладных исследований, отсутствуют системные решения, учитывающие взаимосвязь морфометрических и биофизических показателей яиц с их выводимостью, а также методы раннего неинвазивного прогнозирования пола эмбриона, что

требует расширения применения систем обеспечения качества инкубационных яиц и автоматизации процессов их оценки и сортировки.

Анализ методов и технических средств для оценки и сортировки яиц показывает, что в настоящее время только на небольшом количестве ферм используются различные решения, такие как оптический контроль, акустическая диагностика и системы машинного зрения. Однако предлагаемые решения носят частный характер, не учитывают комплекс морфофизических качеств яиц и их влияние на продолжительность и синхронизацию вывода, и поэтому не обеспечивают эффективное снижение потерь при инкубации.

Таким образом, решение проблемы повышения эффективности воспроизводства сельскохозяйственной птицы требует совершенствования существующих и разработки новых методов и технических средств, основанных на комплексной оценке яичной продуктивности и качества яиц кур разных генетических групп, а также автоматизации процессов сортировки и сексирования с использованием цифровых информационных технологий, что предопределяет разработку соответствующих математических моделей и нейросетевых архитектур.

Во второй главе «Теоретические исследования» проведено обоснование генотипических и паратипических факторов, определяющих реализацию биологического потенциала сельскохозяйственной птицы, разработаны теоретические основы цифровизации процессов анализа параметров телосложения кур и морфометрических показателей яиц, а также обоснована технологическая применимость инфракрасных систем и искусственного интеллекта для задач неразрушающего контроля и прогнозирования в птицеводстве.

На основе анализа генотипических и паратипических факторов установлено, что морфометрические и качественные показатели яиц, а также экстерьерные характеристики кур находятся под сложным влиянием как наследственных факторов (порода, кросс, линия), так и факторов внешней среды (возраст птицы, условия кормления и содержания, микроклимат). Выявлена высокая корреляционная связь между массой яйца и массой суточного цыпленка, что подтверждает необходимость прецизионного контроля морфометрических параметров на прединкубационном этапе.

При исследовании факторов, влияющих на инкубацию, установлено, что качество инкубационных яиц является определяющим звеном в технологической цепи производства продукции птицеводства. Выводимость яиц, сроки вывода цыплят, последующий рост и развитие молодняка, а также продуктивность взрослой птицы в значительной степени зависят от массы и формы яйца, состояния скорлупы, оплодотворенности и условий хранения. Отмечено, что неоднородность инкубационных яиц приводит к расширению «окна» вывода до 42 часов, что негативно сказывается на качестве суточных цыплят и требует внедрения объективных методов контроля.

Обоснование выбора спектрального диапазона и типа излучателей выполнено на основе анализа физических механизмов взаимодействия электромагнитного излучения с веществом. Показано, что ближний инфракрасный диапазон (700–1500 нм) является оптимальным для систем идентификации в условиях животноводческих помещений благодаря низкому поглощению и рассеянию в воздушной среде, высокому коэффициенту отражения от конструкционных материалов и эффективному экранированию бетонными конструкциями. На основе сравнительного анализа пяти типов излучателей обоснован выбор инфракрасных светодиодов как наиболее сбалансированного решения по критериям стоимости, надежности, энергопотребления и спектрального соответствия.

Теоретические основы цифровизации процессов анализа базируются на закономерностях взаимодействия оптического излучения с биологическими объектами. Определены три спектральных диапазона, несущих специфическую информацию: видимый (400–700 нм) для регистрации морфологических признаков, ближний инфракрасный (700–1100 нм) для визуализации внутренних структур и выявления микротрещин, ультрафиолетовый (300–400 нм) для выявления флуоресцентных свойств. Разработана математическая модель перехода от пиксельных координат к абсолютным размерам через коэффициент масштабирования, что обеспечивает возможность прецизионных морфометрических измерений с точностью до долей миллиметра.

Обоснование технологической применимости искусственного интеллекта проведено на основе анализа успешного опыта использования нейросетевых технологий в смежных областях: системах видеонаблюдения (распознавание лиц), медицинской диагностике (анализ МРТ и КТ), автономном вождении (детекция объектов в реальном времени) и промышленном контроле качества (выявление микроскопических дефектов). Показано, что архитектуры глубоких нейронных сетей (YOLO, Faster R-CNN, Mask R-CNN, U-Net, EfficientNet, ResNet, Vision Transformer) могут быть эффективно адаптированы для решения задач птицеводства. Определены ключевые преимущества внедрения ИИ: автоматизация измерений, объективность и воспроизводимость результатов, высокая пропускная способность (до 30–60 кадров/с), раннее выявление отклонений и масштабируемость.

Разработана методология сбора, обучающего датасета, включающая формирование репрезентативной выборки по пяти ключевым направлениям с общим объемом 500 изображений кур и 3000 изображений яиц. Определены протоколы съемки (освещенность 500–1000 лк, две проекции для птицы, три ракурса для яиц), требования к оборудованию (цифровая камера не менее 20 Мп, система контролируемого освещения, масштабная линейка), а также процедуры аннотации с использованием инструментов CVAT, LabelImg и Supervisely. Для задачи прогнозирования пола разработан специализированный протокол, предусматривающий маркировку каждого яйца, измерение морфометрических параметров (диаметр поперечного сечения, диаметр

продольного сечения, индекс формы яйца, объем, угол острого конца) и последующую верификацию пола вылупившегося цыпленка.

Предложена методика обучения моделей искусственного интеллекта, включающая стратифицированное разделение датасета на обучающую (70–80%), валидационную (10–15%) и тестовую (10–15%) выборки, обоснованный выбор архитектур (YOLO11 – для детекции, Mask R-CNN и U-Net – для сегментации, EfficientNet и ResNet – для классификации), подбор гиперпараметров (начальная скорость обучения 10^{-3} , размер батча 32, количество эпох 150, регуляризация L2 с коэффициентом 10^{-5} , dropout 0,3), использование оптимизатора AdamW ($\beta_1=0,9$, $\beta_2=0,999$) и аугментацию данных (повороты, масштабирование, изменение яркости/контрастности, добавление шума). Определены отслеживаемые метрики качества: для детекции – Precision, Recall, F1, mAP; для сегментации – IoU, Dice coefficient; для классификации – Accuracy, AUC-ROC; для регрессии – MAE, RMSE, R^2 . Исследование совместимости результатов модели искусственного интеллекта и визуального распознавания показало, что совместное применение компьютерного зрения и ИИ позволяет автоматизировать оценку экстерьера, сортировку яиц по размеру и форме, детекцию дефектов, овоскопию и прогнозирование пола, существенно снижая потребность в ручном труде. При этом выявлены вызовы (сложность интеграции, качество данных, стоимость, инфраструктура, обучение персонала, условия съемки) и предложены пути их решения. Подход обеспечивает высокую согласованность автоматизированной и экспертной оценок по пяти задачам и создает основу для цифровизации птицефабрик.

Таким образом, теоретические исследования, представленные во второй главе, заложили фундамент для последующей разработки математических моделей, нейросетевых архитектур и методик экспериментальной проверки, изложенных в последующих главах диссертационной работы.

В третьей главе «Методика проведения исследований и прототипирование системы визуального распознавания» представлены методология, методики и результаты теоретических и экспериментальных исследований, направленных на разработку системы визуального распознавания для автоматизированной оценки экстерьера кур-несушек, морфометрических параметров яиц, выявления дефектов скорлупы, классификации оплодотворённости и прогнозирования пола эмбриона.

Схема научных исследований представлена на рисунке 1.

Разработана и апробирована методология анализа биолого-хозяйственных особенностей сельскохозяйственной птицы, включающая органолептические, соматометрические и соматографические методы оценки экстерьера. Установлено, что традиционные методы (глазомерный, ручное взятие промеров) характеризуются высокой субъективностью (погрешность измерений до 15–20%) и низкой производительностью (не более 30–40 голов в

час), что обосновывает необходимость цифровой трансформации процесса оценки.



Рисунок 1 – Схема исследований

Обоснованы и применены три способа получения экстерьерных параметров – контактный, фотографический и с использованием сенсора глубины Structure Sensor 3D. Показано, что погрешность измерений между контактным способом и методом обработки изображений не превышает 5%, что подтверждает эффективность цифровых технологий для объективной оценки телосложения птицы. На рисунке 2 показаны основные промеры курицы.

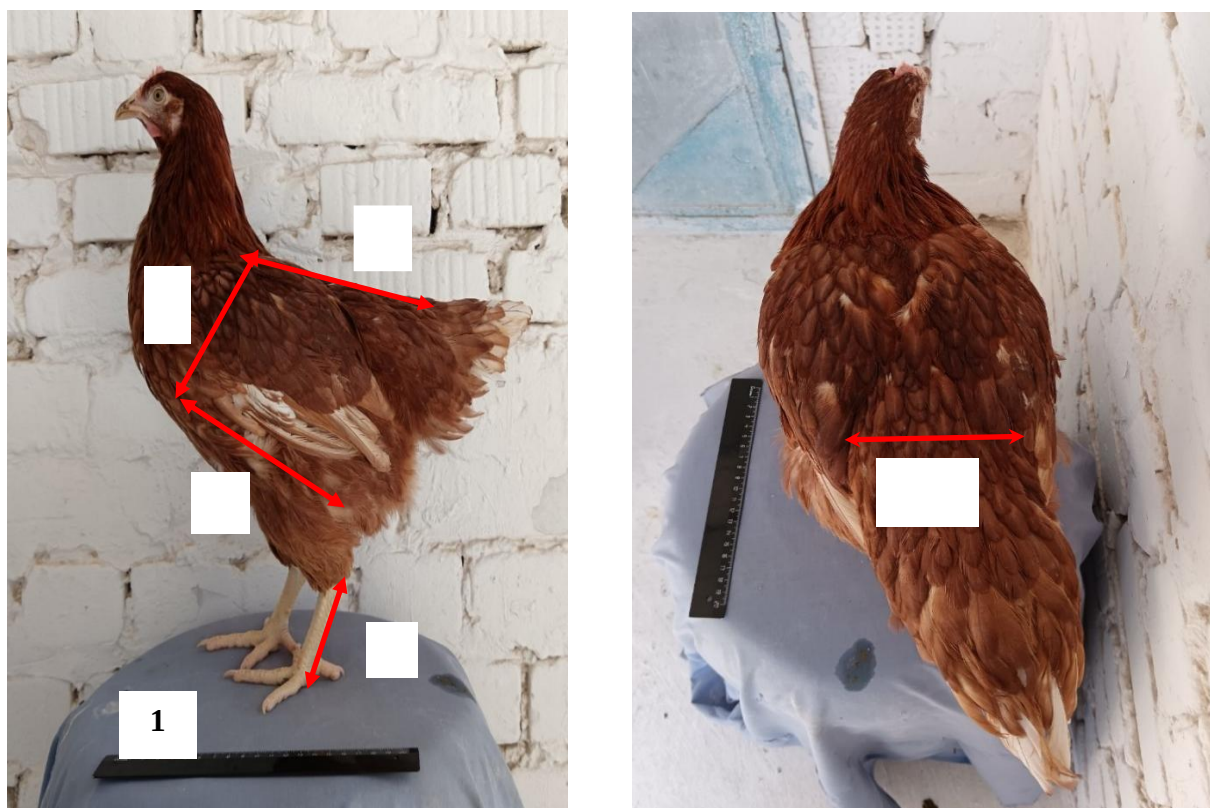


Рисунок 2 – Определение экстерьерных параметров ремонтного молодняка (13 недель):

а) вид сбоку, б) вид сверху

1 – перспектометр; 2 - длина туловища; 3 – длина киля; 4 – передняя глубина туловища; 5 – длина плюсны, 6 – ширина таза

Разработана и валидирована математическая модель обработки 3D-изображений для оценки экстерьера кур, включающая этапы медианной фильтрации (окно 3×3 пикселя), пороговой сегментации на основе карты глубины, нормализации позы с использованием анализа главных компонент (PCA), детекции ключевых точек методом регрессии тепловых карт (гауссово ядро с $\sigma = 3-5$ пикселей) и 3D-реконструкции координат с последующим вычислением линейных промеров (длина туловища, глубина груди, ширина груди, длина киля, длина плюсны, ширина таза, рисунок 3). Разработаны и формализованы два оригинальных индекса телосложения: индекс туловища (ИТ) и индекс типа телосложения (ИТТ), позволяющие комплексно оценивать пропорции тела птицы:

$$ИТ = \frac{ДК}{(ДК \cdot ПГТ \cdot ШМ + (ДТ - ДК) \cdot ШМ \cdot ПГТ)^{\frac{1}{3}}}, \quad (1)$$

$$ИТТ = \frac{ДП}{(ДК \cdot ПГТ \cdot ШМ + (ДТ - ДК) \cdot ШМ \cdot ПГТ)^{\frac{1}{3}}}, \quad (2)$$

где ДК – длина килля, ПГТ – передняя глубина туловища, ШМ – ширина таза, ДТ – длина туловища, ДП – длина плюсны (рисунок 2).

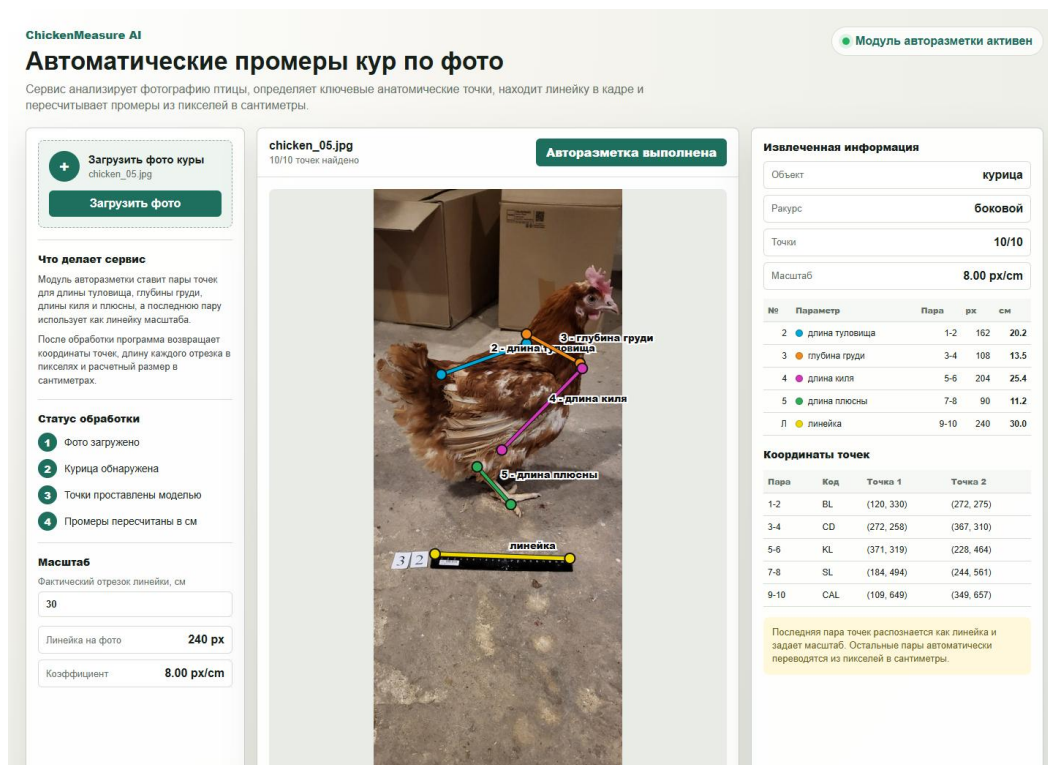


Рисунок 3 – Интерфейс программы «Промеры кур» с автоматически размеченными ключевыми точками на боковом снимке

Разработана математическая модель морфометрии яиц по 3D-изображениям, включающая аппроксимацию формы яйца двумя несимметричными полуэллипсоидами. На основе модели определяются 5 первичных геометрических параметров: поперечный диаметр яйца, продольный диаметр, малая и большая полуоси продольного сечения (точка пересечения которых соответствует центру масс яйца) и угол внешнего острого конца яйца (рисунок 4). По этим параметрам рассчитываются производные морфометрические характеристики: площадь поперечного и продольного сечений, объем, площадь поверхности яйца и индекс формы I_{form} .

$$I_{form} = \frac{S_{trans}}{S_{long}} \sin \alpha, \quad (3)$$

где S_{trans} – площади поперечного сечения яйца, S_{long} – площадь продольного сечения яйца, (α) – внешний угол.

Абсолютная погрешность определения линейных размеров составляет не более 0,4 мм, объёма – не более 0,8 %, площади поверхности – не более 1,2 %.

Разработана математическая модель обнаружения дефектов скорлупы, основанная на совместной обработке RGB-изображений и карт глубины. Модель включает: вычисление градиентов яркости и глубины с использованием оператора Собеля (ядра 3×3), адаптивную пороговую обработку методом Отцу, морфологическую фильтрацию (дилатация, эрозия, открытие с линейным и круглым структурирующими элементами), выделение связных компонент и классификацию типов дефектов (волосяная трещина, звездчатая трещина, вмятина, пробой, включение, наросты). Эмпирически установлены пороговые значения: $A_{\min} = 5$ пикселей, $W_{\max} = 3$ пикселя, $C_{\max} = 0,5$, $T_{\text{dent}} = 1,5$ мм, $T_{\text{perf}} = 5$ мм, $T_{\text{color}} = 5$ ед. CIELAB. Точность обнаружения трещин (F1-score) достигла 0,87, mAP@[.5:.95] – 0,73.

Разработана математическая модель классификации оплодотворенности и ранней гибели эмбриона на основе овоскопических изображений. Модель включает: нормализацию яркости и контраста

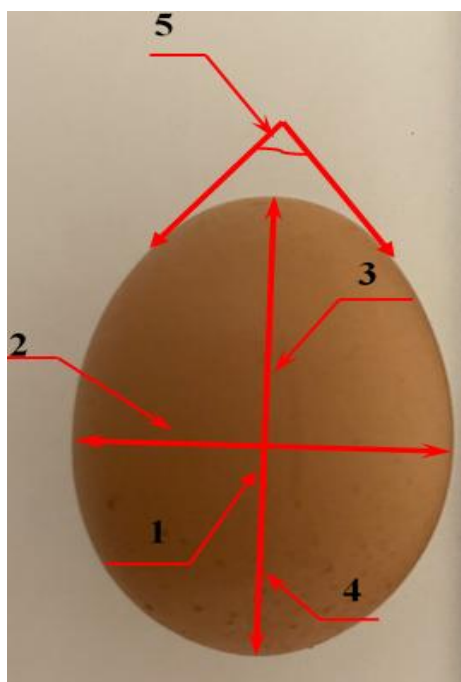


Рисунок 4 - Определение внешних параметров яйца: 1 – большой диаметр яйца; 2 – малый диаметр яйца; 3 – большая полуось продольного сечения; 4 – малая полуось продольного сечения; 5 – внешний угол

(локальное окно 15×15 пикселей), сегментацию области яйца методом Отцу, выделение воздушной камеры (порог 0,85 от максимальной яркости), извлечение 4 текстурных признаков по GLCM (энергия, контраст, корреляция, энтропия), формирование конкатенированного вектора признаков размерностью 1285 и классификацию с помощью трёхслойного полносвязного классификатора (архитектура: $1285 \rightarrow 256 \rightarrow 128 \rightarrow 64 \rightarrow 3$) с функцией активации Softmax. Общее количество обучаемых параметров классификатора – 370 563.

Категориальная кросс-энтропия использована в качестве функции потерь. Порог уверенности для автоматического принятия решения установлен на уровне 0,7. На рисунке 5 показан процесс получения овоскопических снимков, которые являются основным источником данных для модели классификации оплодотворенности и жизнеспособности эмбриона.



Рисунок 5 — Овоскопирование яиц для оценки качества

Разработанная нейросетевая система анализа инкубационных яиц (на основе CNN и U-Net/Mask R-CNN) обеспечивает: общее время анализа одного яйца – не более 187 мс; производительность в ручном режиме – не менее 620 яиц/час; производительность в автоматическом режиме – не менее 3 720 яиц/час на одной линии конвейера; ROC-AUC для оплодотворённости – 0,985 (при целевом $\geq 0,98$); ROC-AUC для ранней гибели эмбриона – 0,957 (при целевом $\geq 0,95$); Precision (оплодотворённость) – 0,968 (при целевом $\geq 0,96$); Recall (оплодотворённость) – 0,964 (при целевом $\geq 0,96$). На рисунке 6 представлен этап сегментации, на котором с высокой точностью выделяется внешний контур яйца — это критически важно для последующего вычисления перечисленных морфометрических параметров.

Экспериментально подтверждена эффективность разработанных моделей на тестовой выборке объёмом не менее 15% от общего датасета. Коэффициент вариации (CV) при повторном анализе геометрических параметров составил менее 2%; логические правила постобработки снизили количество ложноположительных срабатываний (FP) на 18% по сравнению с моделью без постобработки. Разработанная программа «Промеры кур» успешно апробирована для оценки экстерьера ремонтного молодняка, а модуль сегментации яиц обеспечивает высокую точность выделения контура для последующих геометрических измерений.

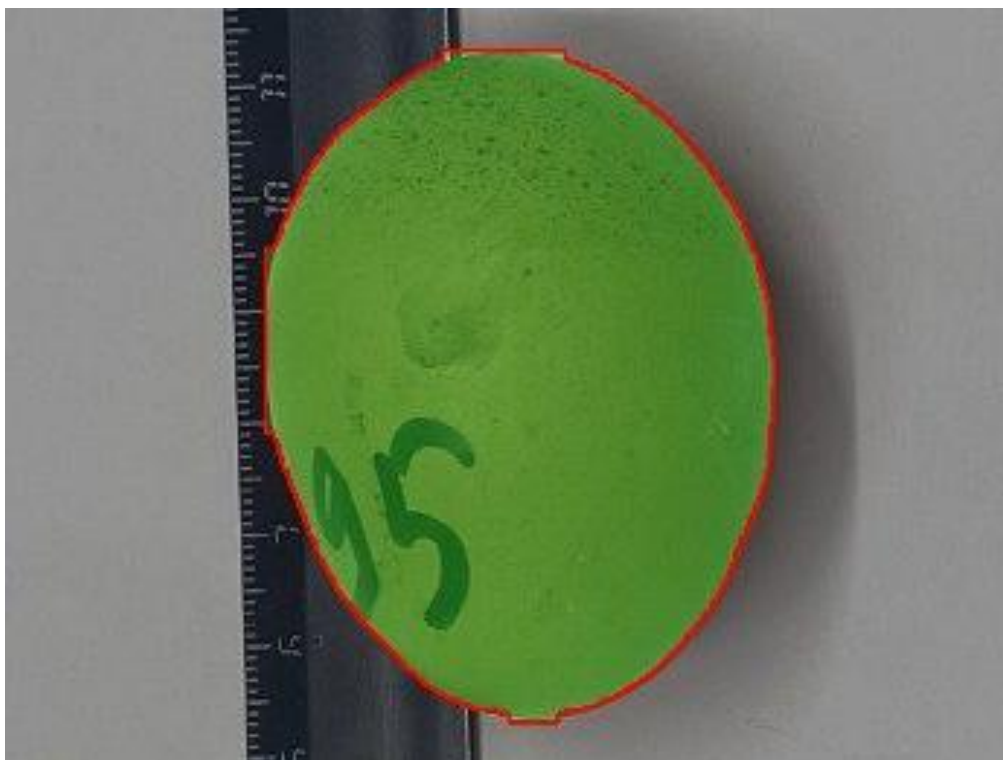


Рисунок 6 — Сегментация яиц и определение контура (длины, формы яйца)

Таким образом, в третьей главе создан научно-методический и инструментальный базис для автоматизированной оценки биолого-хозяйственных особенностей птицы и качества яиц, который в дальнейшем был применён в экспериментальных исследованиях и при разработке промышленного прототипа установки сортировки.

В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований и их анализ» представлены результаты комплексных экспериментальных исследований, выполненных в период с 2022 по 2025 год на базе ООО «Племптицесовхоз «Увинский», Увинский район и ООО «Сарапульская птицефабрика», г Сарапул Удмуртской Республики, а также в учебно-научной лаборатории биотехнологии ФГБОУ ВО «Удмуртский ГАУ».

Проведен анализ технологии кормления и содержания ремонтного молодняка и кур-несушек родительского стада. Установлено, что созданная на предприятии система кормления и содержания (бункерная система хранения кормов вместимостью 21,26 м³, транспортёры производительностью 2,6 т/ч, клеточные батареи ТБЦУМ и ТБР) обеспечивает полную реализацию наследственного потенциала продуктивности. Параметры плотности посадки (350 см²/гол для молодняка и 600 см²/гол для взрослой птицы), фронта кормления (11,4 см/гол) и фронта поения (5,3–8 голов на ниппель) соответствуют зоогигиеническим нормативам. Температурно-влажностный режим (от +35...+36 °С в первые сутки до +18...+20 °С с 5-й недели при влажности

60–70%) и световая программа (сокращение освещения с 24 ч (50 лк) до 9 ч (5 лк) к 9-й неделе) обеспечили сохранность поголовья на уровне 96,1–97,4 % с максимумом у кроссов «Корал» и «Супер Ник».

В соответствии с задачами исследований была проведена оценка яичной продуктивности кур в возрастные периоды 21-25 недель, 25-42 и 42-80-недель (таблица 1).

При анализе интенсивности роста и формирования телосложения ремонтного молодняка кур разных генетических групп выявлены устойчивые межкроссовые различия (рисунок 7). Максимально высокой живой массой отличалась птица кросса «Ломанн Браун Классик». В течении всего учетного продуктивного периода живая масса кур кросса «Ломанн Браун Классик» достоверно ($p \leq 0,001$) превосходила данный показатель живой массы кур кросса «Супер Ник» от 15,5% до 18,4%, кур кросса «Корал» – от 5,5% до 6,5% при достоверной разнице ($p \leq 0,05$; $p \leq 0,01$; $p \leq 0,001$).

Таким образом, за весь учетный период относительно низкой живой массой характеризовались кур кросса «Супер Ник».

Живая масса суточных цыплят варьировала в интервале 35,3–36,3 г без достоверных различий между группами. К 140-дневному возрасту сформировалась значительная дифференциация: максимальная живая масса зафиксирована у кросса «Ломанн Браун Классик» (1689,4 г), минимальная – у кросса «Супер Ник» (1439,2 г), разница достигла 17,4 % ($p \leq 0,001$). Среднесуточный прирост за период 0–140 дней составил 11,81 г, 11,58 г, 11,07 г и 10,02 г для групп 1–4 соответственно. Установлено достоверное превосходство коричневых кроссов над белыми по данному показателю на 6,7–7,9 % ($p \leq 0,05$ –0,01). Однородность стада по живой массе при переводе в продуктивное поголовье достигла 88,3–92,5 %, что превышает нормативный уровень (80 %). Комплексная оценка экстерьера с использованием разработанных индексов (индекс туловища, индекс типа телосложения) подтвердила, что куры белых кроссов характеризуются более вытянутым типом телосложения, тогда как коричневые – более компактным и сбитым.

Анализ яичной продуктивности показал, что в возрастной динамике яйценоскость на среднюю несушку кросса «Корал» превосходила сверстниц: кросса «Супер Ник» – от 2,1 до 11,2 шт., «Браун Ник» – от 0,9 до 5,9 шт., «Ломанн Браун Классик» – от 1,4 до 7,5 шт. Куры кроссов «Браун Ник», «Корал» и «Супер Ник» отличались относительно стабильной яичной продуктивностью в первые два периода (21–25 и 25–42 нед.) и ее снижением к третьему периоду.

Таблица 1 –Возрастная динамика яичной продуктивности кур-несушек родительского стада

Показатель	Группа/Кроссы			
	1	2	3	4
	«Ломанн Браун Классик»	«Браун Ник»	«Корал»	«Супер Ник»
	$\bar{x} \pm m_x$	$\bar{x} \pm m_x$	$\bar{x} \pm m_x$	$\bar{x} \pm m_x$
<i>продуктивный период 21-25 недель (35 дней)</i>				
п	200	200	200	200
Живая масса на конец учетного периода, г	1781,7±7,9	1763,5±6,8	1689,1±6,5*	1504,2±7,2***
Яйценоскость на среднюю несушку, шт	30,1±4,2	30,6±3,3	31,5±3,1	29,4±2,5
Интенсивность яйценоскости, % (норма/факт)	84,2/86,1	84,7/87,3	76,8/81,3	80,5/84,1
Средняя масса яйца, г	61,1±0,34	60,4±0,41*	52,6±0,52***	53,9±0,49***
Яичная масса, кг	1,84±0,09	1,85±0,07	1,51±0,08*	1,58±0,07*
<i>25 - 42 недели (119 дней)</i>				
п	197	197	197	197
Живая масса на конец учетного периода, г	2012,8±11,4	1989,3±10,1	1891,2±8,9**	1729,3±9,2***
Яйценоскость на среднюю несушку, шт	112,4±3,5	113,5±3,2	114,4±3,3	112,8±3,9
Интенсивность яйценоскости, % (норма/факт)	94,3/94,4	95,2/95,4	95,8/96,1	94,7/94,8
Средняя масса яйца, г	63,7±0,39	62,9±0,32	61,3±0,43**	61,5±0,41**
Яичная масса, кг	7,16±0,26	7,14±0,19	7,01±0,21	6,94±0,23
<i>42-80 недель (266 дней)</i>				
п	194	195	193	189
Живая масса на конец учетного периода, г	2076,5±13,9	2065,7±18,1	1949,4±12,5***	1799,2±15,1***
Яйценоскость на среднюю несушку, шт	218,1±5,4	219,7±4,5	225,6±4,2	214,4±5,8
Интенсивность яйценоскости, % (норма/факт)	85,1/84,5	85,6/84,7	88,2/87,9	88,1/85,3
Средняя масса яйца, г	66,7±0,27	66,3±0,25	65,1±0,35*	64,9±0,27**
Яичная масса, кг	15,55±0,34	14,57±0,35	14,69±0,37	13,91±0,44*
<i>За весь учетный период (420 дней)</i>				
п	192	184	192	180
Яйценоскость на среднюю несушку, шт	360,6±9,1	363,8±7,4	368,5±6,9	356,6±9,4*
Яйценоскость на начальную несушку,шт	346,2±7,4	334,7±8,7	353,8±8,3	320,9±9,4*
Интенсивность яйценоскости, % (норма/факт)	83,5/85,9	84,3/86,6	82,3/87,7	84,0/84,9
Средняя масса яйца, г	63,8±0,21	63,2±0,24	59,7±0,31*	60,1±0,35*
Яичная масса, кг	23,01±0,32	22,99±0,38	22,02±0,44	21,43±0,48*

Примечание: разность по сравнению с группой 1 достоверна при $p \leq 0,05^*$; $p \leq 0,01^{**}$; $p \leq 0,001^{***}$

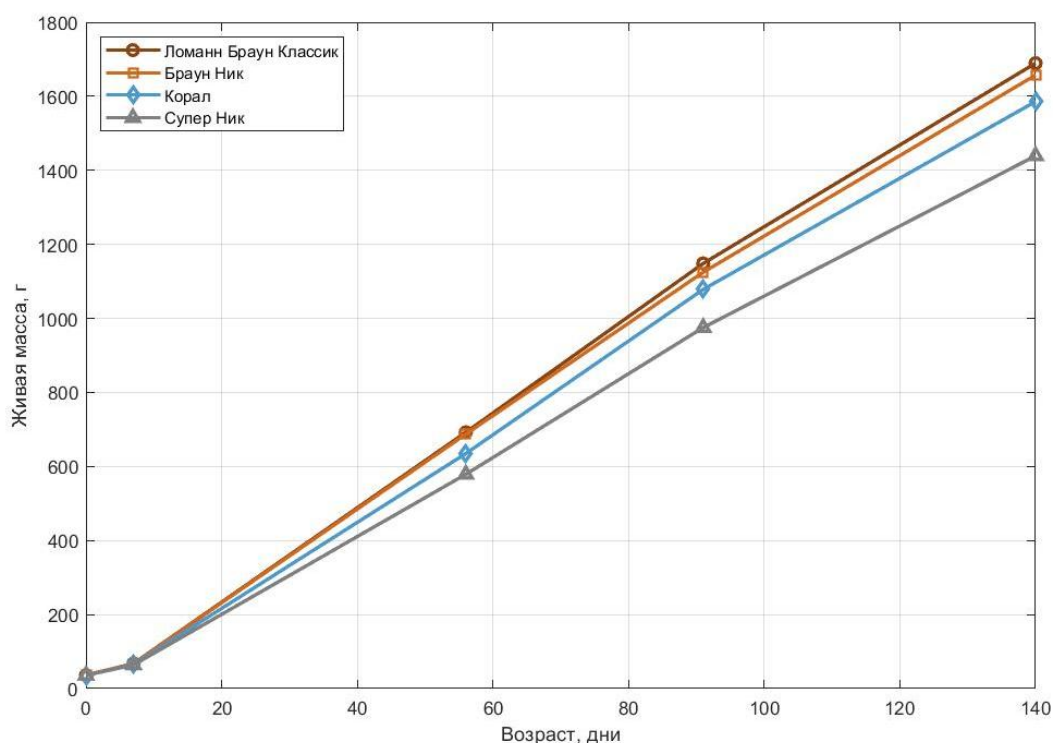


Рисунок 7 – Динамика живой массы ремонтного молодняка кур разных кроссов

Интенсивность яйценоскости кур кроссов «Ломанн Браун Классик», «Браун Ник» и «Корал» в динамике возрастного периода превышала нормативные показатели разработчика: в первый период – до 4,5 % (кросс «Корал»), в третий период – на 0,3–0,9 %. У кросса «Супер Ник» фактическая интенсивность в третий период составила 85,3 %, что ниже норматива на 2,8%.

Средняя масса яйца к третьему возрастному периоду (42–80 нед.) увеличилась по генетическим группам на 5,6–12,8 г. Наибольшей массой яйца за учетный период отличались куры кросса «Ломанн Браун Классик»: в первый период достоверно выше ($p \leq 0,001$), чем у «Корал» на 8,5 г и «Супер Ник» на 7,2 г; во второй период ($p \leq 0,01$) – на 2,4 г и 2,2 г соответственно; в третий период ($p \leq 0,01$) – на 1,3 г и 1,8 г соответственно. За учетный период (420 дней) от кур «Ломанн Браун Классик» получено максимальное количество яичной массы (23,01 кг), что выше, чем у «Браун Ник» на 0,1 %, «Корал» – на 4,3 % и «Супер Ник» – на 6,9 % ($p \leq 0,05$).

Таким образом, максимальную яичную продуктивность на среднюю несушку за 420 дней имели куры кросса «Корал» (368,5 шт.) и «Браун Ник» (363,8 шт.), что выше, чем у «Супер Ник» на 11,9 и 7,2 шт. соответственно (рисунок 8).

Яйценоскость на начальную несушку также была выше у данных кроссов (353,8 и 334,7 шт.), что достоверно ($p \leq 0,05$) превышало «Супер Ник» на 32,9 и 25,3 шт. Интенсивность яйценоскости у кроссов «Ломанн Браун Классик» составила 85,9 % (выше норматива на 2,4 %), «Браун Ник» – 86,6 % (на 2,3 %), «Корал» – 87,7 % (на 5,4 %). Результаты исследований

свидетельствуют о генетической обусловленности показателей яичной продуктивности и адаптационных способностей разных кроссов.

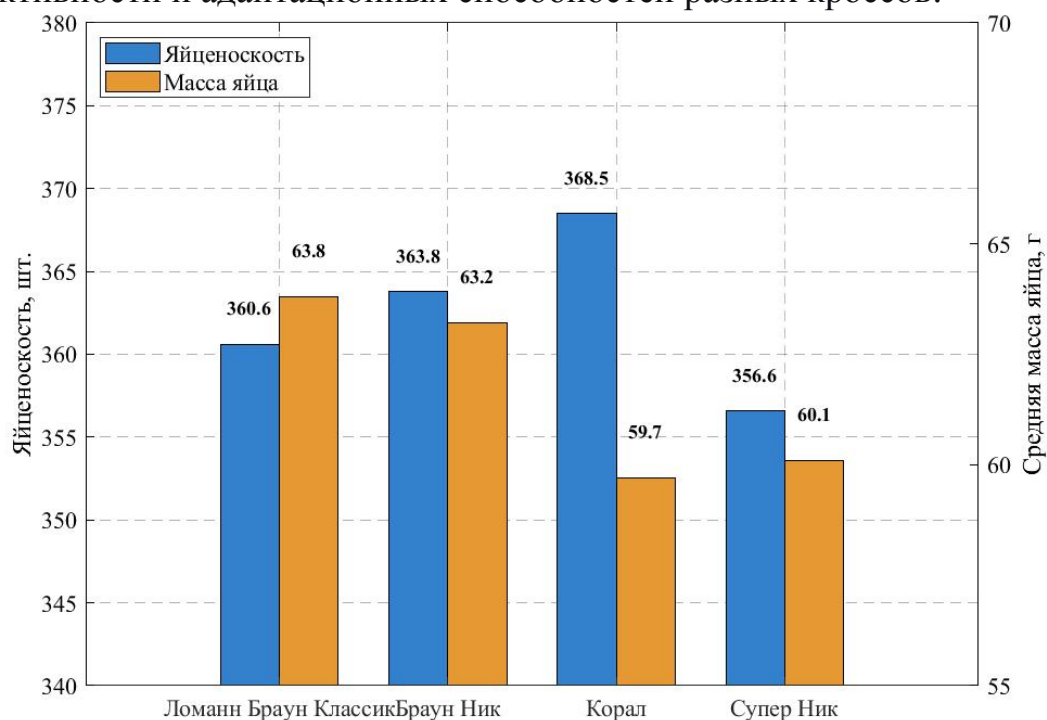


Рисунок 8 – Яичная продуктивность кур разных кроссов за 21–80 недель

Была проведена сравнительная оценка морфометрических параметров яиц кур-несушек родительского стада четырёх промышленных кроссов («Ломанн Браун Классик», «Браун Ник», «Корал», «Супер Ник») в возрасте 42 недель. Анализировали массу яйца, большой и малый диаметры, угол острого конца, индекс формы, площадь поверхности и объём. Полученные результаты (таблица 2) выявили четкую генетическую обусловленность большинства показателей и достоверные межкроссовые различия.

Установлено, что максимальная масса яйца отмечена у кросса «Ломанн Браун Классик» (62,8 г), что достоверно превышает значения кроссов «Корал» на 5,2 % ($p \leq 0,001$) и «Супер Ник» – на 3,5 % ($p \leq 0,01$); с кроссом «Браун Ник» разница оказалась несущественной (1,4 %). Индекс формы яйца варьировал от 0,691 до 0,822; у коричневых кроссов («Ломанн Браун Классик» и «Браун Ник») он был достоверно выше, чем у белых («Корал» и «Супер Ник»), на 0,05–0,11 п.п. ($p \leq 0,05$ –0,01). Яйца кросса «Ломанн Браун Классик» отличались наибольшими большим и малым диаметрами, а также самым высоким углом острого конца ($98,5^\circ$), что обуславливало их округлую форму и максимальные площадь поверхности и объём. Выявленные закономерности свидетельствуют о том, что морфометрические параметры могут служить надежными критериями при оценке кроссов, отборе инкубационных яиц и повышения эффективности технологических процессов (например, перемещения яиц по линиям сортировки).

Таблица 2 – Морфометрические параметры яиц разных кроссов кур родительского стада (возраст 42 недели) (n=30)

Показатель	Группа/Кроссы			
	1	2	3	4
	«Ломанн Браун Классик»	«Браун Ник»	«Корал»	«Супер Ник»
	$\bar{x} \pm m_x$	$\bar{x} \pm m_x$	$\bar{x} \pm m_x$	$\bar{x} \pm m_x$
Масса яйца, г	62,8±0,24	61,9±0,21	59,7±0,32***	60,7±0,39**
Большой диаметр яйца, см	6,5±0,03	6,4±0,02*	5,9±0,03***	6,1±0,04**
Малый диаметр яйца, см	4,9±0,03	4,8±0,02*	4,5±0,03***	4,7±0,04*
Угол острого конца яйца, °	98,5±0,41	97,8±0,45	96,2±0,56**	96,5±0,51*
Индекс формы яиц	0,763±0,002	0,761±0,003	0,752±0,003**	0,756±0,002*
Площадь поверхности яйца, см ²	85,3±0,42	84,7±0,53	78,7±0,67**	79,8±0,71*
Объем яйца, см ³	99,4±0,87	98,2±0,91	93,5±0,99**	94,9±1,12*

Примечание: разность по сравнению с группой 1 достоверна при $p \leq 0,05^*$; $p \leq 0,01^{**}$; $p \leq 0,001^{***}$

Установив генетическую обусловленность индекса формы яйца и его достоверные межкроссовые различия, было детально изучено влияние собственно формы яйца на его физические характеристики, независимо от кроссовой принадлежности.

Для этого весь исследованный материал (n=120, по 30 яиц от каждого кросса) был распределен на три группы в зависимости от величины индекса формы: 1-я группа – 0,695–0,734 (округлые яйца), 2-я – 0,735–0,774 (промежуточные) и 3-я – 0,775–0,815 (вытянутые). Крайние варианты (<0,695 и >0,815) исключены из анализа.

Полученные результаты представлены в таблице 3.

Установлено, что яйца с более округлой формой (1 группа) достоверно превосходили яйца с вытянутой формой (3 группа) по массе (59,5 г против 57,4 г; $P < 0,05$), большому диаметру (6,4 см против 6,0 см; $P < 0,01$), площади поверхности (86,6 см² против 83,4 см²; $P < 0,05$), объёму (74,1 см³ против 70,8 см³; $P < 0,05$), площади продольного сечения и углу острого конца (98,1° против 95,1°; $P < 0,01$). Различия по малому диаметру и площади поперечного сечения были несущественными.

Таблица 3 - Динамика показателей качества яиц в зависимости от величины индекса формы

Показатель	Индекс формы яйца		
	1 группа (0,695-0,734, n=20)	2 группа (0,735-0,774, n=74)	3 группа (0,775-0,815, n=26)
	$\bar{x} \pm \Delta\bar{x}$	$\bar{x} \pm \Delta\bar{x}$	$\bar{x} \pm \Delta\bar{x}$
Индекс формы яйца	0,724±0,002	0,755±0,001	0,784±0,003
Масса яйца, г	59,5±0,73	58,3±0,43	57,4±0,46*
Большой диаметр, см	6,4±0,05	6,2±0,03*	6,0±0,04**
Малый диаметр, см	4,7±0,04	4,7±0,02	4,7±0,03
Площадь поверхности, см ²	86,6± 0,73	85,0±0,70	83,4±0,94*
Объем яйца, см ³	74,1± 1,10	72,5±0,90	70,8±1,02*
Площадь продольного сечения, см ²	23,6± 0,35	23,0±0,19	22,4±0,25*
Площадь поперечного сечения, см ²	17,3±0,26	17,5±0,14	17,6±0,20
Угол острого конца, °	98,1±0,45	95,6±0,51**	95,1±0,53**
Масса скорлупы, г	8,1±0,08	8,0±0,06	7,8±0,07*
Масса желтка, г	16,2±0,23	16,4±0,12	16,1±0,14
Масса белка, г	35,2±0,36	34,3±0,35	33,5±0,43*
Высота желтка, мм	20,0±0,21	20,1±0,17	19,8±0,22
Высота плотного белка, мм	9,3±0,08	9,2±0,12	8,8±0,11*
Высота жидкого белка, мм	4,7± 0,23	4,9±0,11	4,0±0,15*
Диаметр желтка, мм	41,3±0,51	41,7±0,31	41,2±0,39
Малый диаметр белка, мм	76,0±0,99	75,6±0,68	75,8±0,82
Большой диаметр белка, мм	81,9±1,1	81,2±0,71	82,0±0,85
Объем жидкого белка, см ³	35,8± 0,13	35,1±0,24*	34,2±0,17***
Средний показатель толщины скорлупы, мм	0,411± 0,01	0,425±0,003**	0,429±0,004***

Примечание: разность по сравнению с группой 1 достоверна при $p \leq 0,05^*$; $p \leq 0,01^{**}$; $p \leq 0,001^{***}$

При оценке компонентного состава выявлено, что округлые яйца отличались большей массой скорлупы (8,1 г против 7,8 г; $P < 0,05$) и белка (35,2 г против 33,5 г; $P < 0,05$), тогда как масса желтка варьировала незначительно. Относительное содержание желтка увеличивалось, а белка снижалось с ростом индекса формы (с 27,2% до 28,2% и с 59,2% до 58,4% соответственно), что привело к уменьшению соотношения белок:желток с 2,17 до 2,08.

Толщина скорлупы была достоверно выше у вытянутых яиц (2 и 3 группы) – на 3,4–4,4% ($P < 0,01$ –0,001) по сравнению с округлыми. Высота плотного белка и индекс белка оказались выше у яиц 1-й группы (20,0 мм и 11,8% против 19,8 мм и 11,2% в 3-й группе; $P < 0,05$). Объем жидкого белка также был наибольшим в 1-й группе – на 4,7% больше, чем в 3-й ($P < 0,05$).

Таким образом, форма яйца является значимым фактором, определяющим его морфометрические параметры, компонентный состав и

качественные характеристики. Полученные закономерности могут быть использованы для объективной оценки инкубационных и пищевых свойств яиц, а также при сортировке и повышения эффективности технологических процессов переработки.

Выявленные закономерности изменения морфофизических параметров в зависимости от формы яйца непосредственно отражаются на его инкубационных качествах. Для экспериментальной проверки данного положения были проведены инкубационные испытания яиц всех четырех кроссов. Результаты инкубации, в том числе выводимость яиц, вывод цыплят и качество суточных цыплят, представлены на рисунке 9.

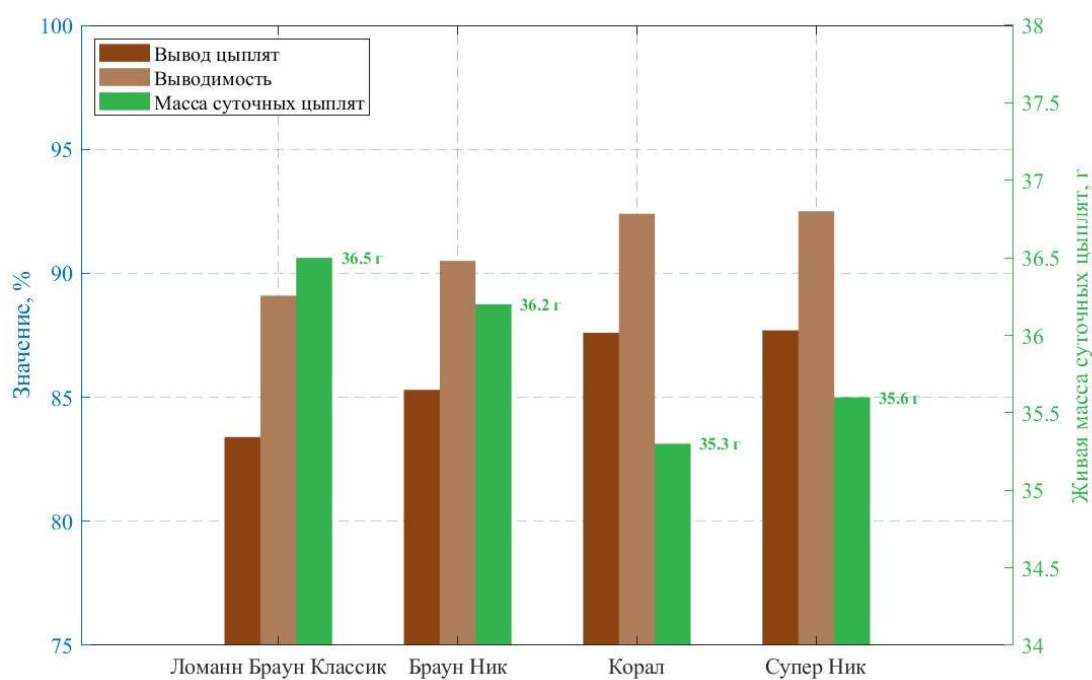


Рисунок 9 – Результаты инкубации яиц кур разных кроссов

Результаты инкубации показали, что оплодотворенность яиц находится в диапазоне 93,5–95,4 %, выводимость – 89,1–92,5 %. Наилучшие инкубационные характеристики продемонстрировали белые кроссы («Корал» – выводимость 92,4 %, «Супер Ник» – 92,5 %). Общий вывод цыплят составляет 83,4–87,7 % с максимальным значением у кросса «Супер Ник» (87,7 %). Живая масса суточных цыплят варьирует от 35,3 г до 36,5 г, причём выявлено достоверное превосходство цыплят от коричневых кроссов над белыми на 2,5–3,4 % ($p \leq 0,01$). Высокая положительная корреляция между массой инкубационного яйца и массой суточного цыпленка ($r = 0,78$) подтверждает прогностическую ценность данного признака.

Проведен комплексный анализ влияния морфометрических параметров инкубационных яиц на выводимость, качество суточных

цыплят, последующий рост, экстерьер и продуктивность кур, а также на половую принадлежность эмбриона.

Установлено, что яйца оптимальной массы (55–70 г) достоверно превосходят мелкие (<55 г) по оплодотворенности (93,9–94,6 % против 88,7 %), выводимости (91,7–92,8 % против 85,2 %) и массе суточных цыплят (40,3–40,8 г против 33,4 г; $p \leq 0,001$). Среди яиц оптимальной массы наибольшая выводимость (92,8 %) отмечена при индексе формы 0,731–0,765 (3 группа).

Цыплята, полученные из мелких яиц, во все возрастные периоды (от 7 до 119 дней) достоверно уступают сверстникам из яиц массой 55–70 г по живой массе (на 301,6–315,4 г в 119 дней; $p \leq 0,001$) и среднесуточным приростам (на 17,3–20,3 %; $p \leq 0,01$ – $0,001$). Однородность стада по живой массе у молодняка из мелких яиц ниже (80,3 % против 85,9 %).

Куры, выращенные из мелких яиц, в 42 недели имеют достоверно меньшие промеры тела (длина туловища, глубина груди, длина кия, ширина таза; $p \leq 0,05$ – $0,001$), более низкий индекс туловища (на 7,1–8,1 %; $p \leq 0,01$) и меньшую живую массу (на 5,1–7,7 %; $p \leq 0,001$). При этом у них выше интенсивность яйцекладки (96 % против 91–94 %), но масса яиц и их морфометрические параметры достоверно ниже (на 7,2–20,6 %; $p \leq 0,05$ – $0,001$). Индекс формы яйца у кур из мелких яиц также ниже ($p \leq 0,001$), что подтверждает наследственную связь между качеством инкубационного яйца и продуктивностью взрослой птицы.

Поскольку качество инкубационных яиц определяет не только выводимость и последующий рост молодняка, но и половую структуру потомства, следующим этапом исследований стал анализ морфометрических различий между яйцами, из которых выводятся петушки и курочки. Выявление таких маркеров на доинкубационной стадии открывает перспективы раннего сексирования и повышения экономической эффективности птицеводства. Результаты сравнительной оценки морфометрических параметров яиц разной половой принадлежности представлены в таблице 4.

Установлено, что яйца, из которых получены петушки, характеризовались достоверно большей массой суточных цыплят (41,2 г против 39,9 г у курочек; $p \leq 0,05$) при незначительных различиях по массе самого яйца (59,6 г и 58,9 г соответственно). Наиболее информативными морфометрическими маркерами пола оказались: угол острого конца (у курочек – $102,2^\circ$, у петушков – $96,8^\circ$, $p \leq 0,001$), величина малой полуоси яйца (2,8 см у петушков против 2,6 см у курочек, $p \leq 0,05$) и индекс формы яйца (0,676 у петушков, 0,648 у курочек, $p \leq 0,05$).

Яйца, от которых получены курочки, имели более округлую форму (больший угол острого конца и меньший индекс формы). Выявлена высокая положительная корреляционная связь между массой яйца и массой суточного цыплёнка ($r=0,78$), а также между массой цыплёнка и

индексом формы ($r=0,18$). Полученные данные свидетельствуют о возможности прогнозирования пола эмбриона на до инкубации на ранней стадии развития эмбриона по комплексу морфометрических параметров, что имеет практическое значение для раннего сексирования и повышения эффективности инкубации.

Таблица 4 - Морфометрические показатели инкубационных яиц разной половой принадлежности (n=270)

Показатели	Пол цыплят	
	Петушки	Курочки
	$\bar{x} \pm \Delta x$	$\bar{x} \pm \Delta x$
Масса яйца, г	59,6 $\pm$ 0,35	58,9 $\pm$ 0,28
Масса цыпленка, г	41,2 $\pm$ 0,31	39,9 $\pm$ 0,27*
Угол острого конца	96,8 $\pm$ 0,55	102,2 $\pm$ 0,60***
Большой диаметр, см	6,3 $\pm$ 0,03	6,2 $\pm$ 0,03*
Малый диаметр, см	4,8 $\pm$ 0,03	4,9 $\pm$ 0,02 *
Длина большей окружности, см	17,4 $\pm$ 0,09	17,3 $\pm$ 0,06*
Длина меньшей окружности, см	14,9 $\pm$ 0,09	15,0 $\pm$ 0,06*
Большая полуось, см	3,5 $\pm$ 0,04	3,6 $\pm$ 0,03
Малая полуось, см	2,8 $\pm$ 0,04	2,6 $\pm$ 0,03*
Площадь продольного сечения, см ²	26,2 $\pm$ 0,33	27,0 $\pm$ 0,31
Площадь поперечного сечения, см ²	17,8 $\pm$ 0,22	17,9 $\pm$ 0,13
Площадь поверхности, см ²	86,1 $\pm$ 0,91	86,2 $\pm$ 0,54
Объем яйца, см ³	73,9 $\pm$ 1,17	73,8 $\pm$ 0,70
Индекс формы яйца	0,676 $\pm$ 0,009	0,648 $\pm$ 0,008*

Примечание: разность по сравнению с группой петушков достоверна при: * – $p \leq 0,05$; *** – $p \leq 0,001$.

Выявленные в ходе экспериментальных исследований достоверные морфометрические различия между яйцами, из которых выводятся петушки и курочки, а также установленные корреляционные связи между экстерьерными промерами и последующей яйценоскостью, создали объективную основу для перехода от эмпирических закономерностей к формализованным прогностическим моделям. Установлено, что комплекс морфометрических параметров яиц и пять линейных промеров тела кур-несушек (глубина и ширина груди, длина киля, ширина в маклоках, длина туловища) несут значимую информацию для решения двух ключевых задач селекционно-племенной работы: раннего неинвазивного прогнозирования пола эмбриона на доинкубационной стадии и прогнозирования будущей продуктивности особи по экстерьерным характеристикам.

Однако ручная обработка многомерных данных и выявление сложных нелинейных взаимосвязей между входными признаками и выходными переменными в условиях промышленного птицеводства практически невозможны без применения современных методов

машинного обучения. В связи с этим следующим этапом исследования стала разработка и валидация двух нейросетевых моделей, реализующих автоматизированный анализ указанных параметров с использованием архитектур глубокого обучения. Обе модели построены на базе многослойных перцептронов с эстафетной компрессией признаков через скрытые слои, что обеспечивает выделение наиболее информативных комбинаций входных параметров, коррелирующих с целевыми показателями. Принципиальным отличием предложенного подхода является использование исключительно неинвазивных методов получения данных, что полностью исключает повреждение скорлупы и сохраняет инкубационную качества яиц.

Первая разработанная модель – регрессионная – предназначена для прогнозирования яйценоскости кур на основе пяти экстерьерных промеров, что позволяет проводить раннюю селекцию высокопродуктивных особей без длительного фенотипического наблюдения. В отличие от традиционных селекционных схем, требующих длительного наблюдения за птицей, предложенная модель на базе многослойного перцептрона (MLP) дает возможность оценить будущую продуктивность особи по линейным измерениям тела, выполняемым до начала продуктивного периода.

Входным слоем нейронной сети служат пять экстерьерных параметров кур. Выходным слоем является прогноз яйценоскости (количество яиц за учётный период). Модель содержит четыре скрытых слоя с эстафетной компрессией признаков: $128 \rightarrow 64 \rightarrow 32 \rightarrow 16$ нейронов, с применением функций активации ReLU на всех скрытых слоях и линейной активации на выходном слое. Такая архитектура обеспечивает последовательное выделение сложных нелинейных комбинаций входных признаков, коррелирующих с яйценоскостью. Итоговая модель содержит 12 161 обучаемый параметр и оптимизируется по среднеквадратичной ошибке (MSE) с использованием адаптивного оптимизатора Adam (скорость обучения 0,001, batch size = 32). Выбор ReLU-активации обусловлен её способностью предотвращать проблему исчезающего градиента и обеспечивать разреженность активаций.

Для повышения обобщающей способности сети и предотвращения переобучения в архитектуру интегрированы специализированные механизмы регуляризации: слой Batch Normalization, стабилизирующий распределения активаций в мини-батчах; Dropout с вероятностью отключения 30% нейронов, предотвращающий коадаптацию детекторов; L2-штраф на веса с коэффициентом 0,0001; ранняя остановка обучения с контролем по валидационной выборке (patience = 10 эпох). Такой комплекс регулирующих приёмов позволяет эффективно работать с ограниченными выборками, характерными для племенных хозяйств, и

обеспечивает предсказания, устойчивые к вариабельности исходных измерений.

Для объективной оценки обобщающей способности исходная размеченная выборка разделена на три непересекающиеся подвыборки: обучающую (70% данных) — для непосредственной корректировки весов сети; валидационную (15%) — для настройки гиперпараметров и ранней остановки обучения; тестовую (15%) — для финальной оценки точности модели на новых, ранее не использованных данных. На этапе тестирования качество модели оценивается по набору стандартных регрессионных метрик: MSE (среднеквадратичная ошибка), RMSE (корень из среднеквадратичной ошибки), MAE (средняя абсолютная ошибка), MAPE (средняя абсолютная процентная ошибка), а также коэффициентам детерминации R^2 и скорректированному R^2 , что даёт количественную характеристику точности и доли объясненной дисперсии. При тестировании на независимой выборке получена относительная ошибка прогноза MAPE, равная 4,74%, что является весьма хорошим показателем и демонстрирует принципиальную возможность использования нейросетевых технологий для прогнозирования продуктивности птицы.

Разработанный алгоритм прогнозирования (рисунок 10) предусматривает последовательное выполнение операций: измерение пяти экстерьерных параметров курицы; нормализация каждого промера для формирования входного вектора $x \in R^5$; подача вектора на вход обученной сети; получение числового прогноза $\hat{y} = f_NN(x)$ как ожидаемой яйценоскости за учетный период. Такая схема полностью неинвазивна, не требует дополнительного выращивания особи и может быть интегрирована в поточные линии оценки ремонтного молодняка. Модель выступает инструментом ранней селекции, позволяя отбраковывать заведомо низкопродуктивных кур на стадии комплектования родительского стада, что сокращает затраты на содержание и инкубацию.

Разработанная регрессионная модель на базе многослойного перцептрона была апробирована на выборке из 52 кур, для каждой из которых измерено 5 экстерьерных признаков и учтена фактическая яйценоскость за 420 дней продуктивного периода (среднее — 348 яиц, $\sigma = 14$). Корреляционный анализ выявил, что наиболее информативными признаками являются длина туловища ($r = 0,52$) и индексы телосложения ИТ и ИТТ ($r = -0,31 \dots -0,43$), тогда как глубина груди, длина киля и плюсны показали слабую связь с продуктивностью ($r < 0,1$).

Обучение модели на обучающей выборке продемонстрировало высокую аппроксимирующую способность: $MSE = 0,0001$, $R^2 = 1,0$. При тестировании на независимой выборке (рис. 11) получены следующие метрики качества: $MAPE = 4,74 \%$, $RMSE = 17,9$ яйца, $MAE = 16,2$ яйца (около 5 % от средней продуктивности). Отмеченное расхождение между

ошибками на обучающей и тестовой выборках объясняется ограниченным объемом доступных данных (52 образца).

Вторая модель представляет собой бинарный классификатор, решающий задачу определения пола эмбриона по восьми геометрическим характеристикам яйца, измеряемым до закладки в инкубатор.

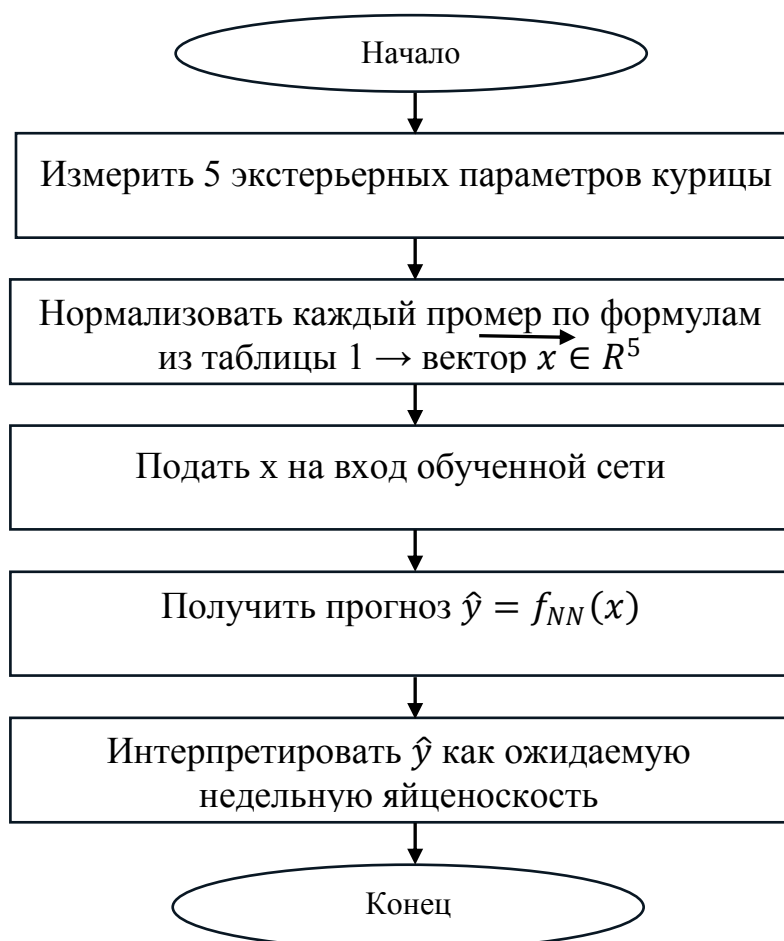


Рисунок 10 – Алгоритм работы модели прогноза яйценоскости

Входными признаками служат: большой и малый диаметры яйца, большая и малая полуоси продольного сечения, угол острого конца, площадь продольного и поперечного сечений, индекс формы. Выходом модели является бинарная метка класса: «курочка» или «петушок».

Модель построена на базе многослойного перцептрона с тремя скрытыми слоями и выходным слоем с сигмоидальной функцией активации, что обеспечивает вероятностную интерпретацию результата (значение от 0 до 1, порог принятия решения — 0,5). Общее количество обучаемых параметров составляет 3 393. Выходная сигмоидальная активация выбрана для задачи бинарной классификации, так как она естественным образом отображает выходной сигнал в интервал (0, 1), интерпретируемый как вероятность принадлежности к целевому классу «курочка». Обучение классификатора проводилось на том же датасете с

использованием стратифицированного разделения на обучающую, валидационную и тестовую выборки в пропорции 70:15:15.

При тестировании на независимой выборке объемом 50 яиц общая точность (Accuracy) составила 87,5% (44 верных классификации из 50). Метрики качества для целевого класса «курочка»: Precision (точность) — 94,74%, Recall (полнота) — 78,26%, F1-score — 85,72%, что достоверно превышает уровень случайного угадывания (50%). Коэффициент прогноза пола (доля правильных предсказаний относительно общего числа проанализированных яиц) достиг значения 0,87. Основными лимитирующими факторами точности являются ограниченный объем обучающей выборки и чувствительность угла острого конца (α) и индекса формы (I_{form}) к погрешностям сегментации контура на этапе предобработки изображений. Матрица ошибок классификации представлена на рисунке 12.

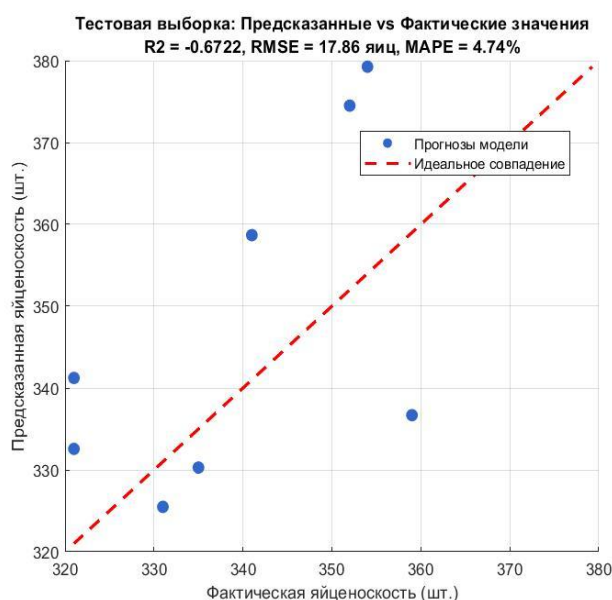


Рисунок 11 – Сравнение предсказанной яйценоскости с фактической

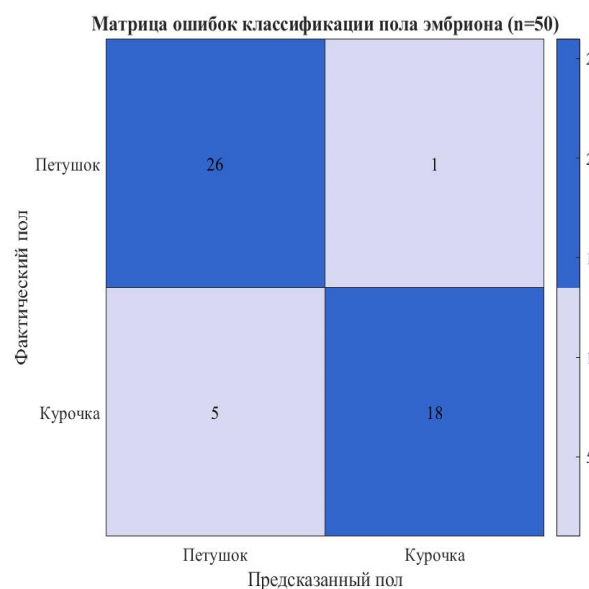


Рисунок 12 – Матрица ошибок классификации пола эмбриона

Таким образом, в четвертой главе на основе обширного экспериментального материала подтверждена эффективность разработанных методов и технических средств, а также установлены закономерности влияния генетических и паратипических факторов на продуктивные и репродуктивные качества кур разных кроссов, что создало основу для последующей разработки технологической установки и оценки экономической эффективности внедрения инновационных решений, представленных в пятой и шестой главах диссертационной работы.

В пятой главе «Совершенствование системы комплексной оценки, анализа и сортировки яиц» представлены результаты анализа перспективных направлений совершенствования технологий сортировки

куриных яиц, разработка концептуальной модели установки для анализа морфометрических параметров и сепарации яиц, а также расчет конвейерной линии установки.

Анализ существующих методов сортировки яиц показал, что современные технологии (оптический контроль, акустическая диагностика, детекторы трещин и загрязнений, системы машинного зрения) эффективно выявляют внешние дефекты скорлупы и некоторые внутренние аномалии, но не предназначены для автоматического определения морфологических параметров яйца и раннего неинвазивного прогнозирования пола эмбриона. Выявлена научно-техническая проблема – отсутствие методов и технических решений для комплексной оценки куриных яиц на начальной стадии инкубации, включающей определение морфометрических характеристик и прогнозирование пола будущего цыплёнка.

Разработана концептуальная модель установки для анализа морфометрических параметров и сепарации яиц (рисунок 12), входящей в состав сортировочной производственной линии. Определены габаритные размеры установки (длина 2000 мм, ширина 650 мм, высота 850 мм, ширина конвейерной ленты 65 мм, расстояние между яйцами 300 мм). Обоснован выбор аппаратно-программного комплекса машинного зрения: в качестве устройства получения трехмерных изображений выбраны стереокамеры глубины Intel RealSense D456, обеспечивающие получение плотной карты глубины в реальном времени; для обработки данных используется вычислительный модуль на базе Raspberry Pi 5.

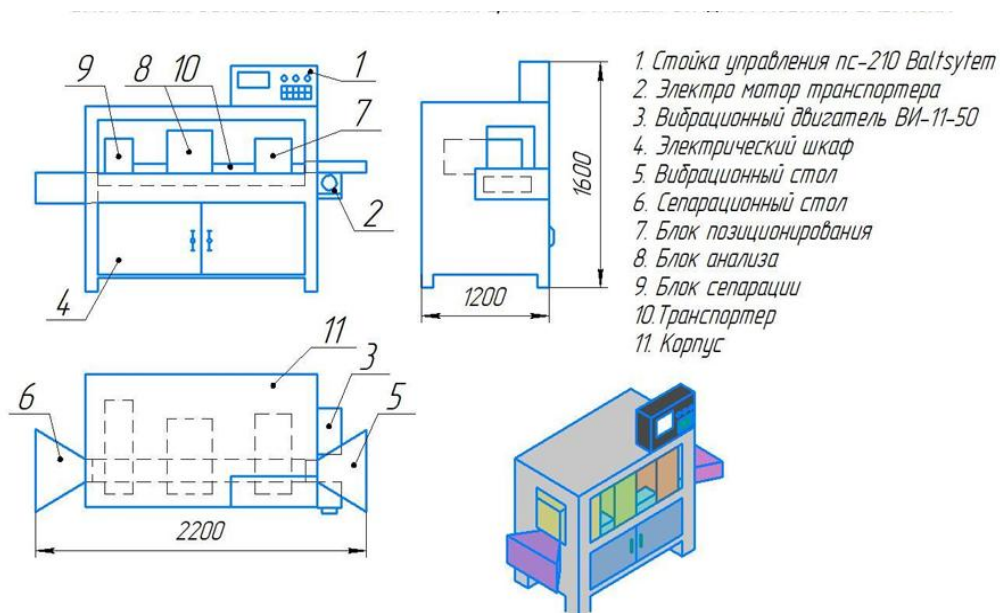


Рисунок 12 – Установка для анализа морфометрических параметров и сепарации яиц: 1 – стойка управления; 2 – электромотор транспортера; 3 – вибрационный двигатель; 4 – электрический шкаф; 5 – вибрационный стол; 6 – сепарационный стол; 7 – блок позиционирования; 8 – блок анализа; 9 – сепарационный блок; 10 – транспортер; 11 – корпус

Установка для анализа морфометрических параметров и сепарации яиц включает следующие функциональные блоки: стойку управления (1), предназначенную для согласования работы всех устройств и блоков установки, а также программирования режимов работы; электродвигатель транспортера (шаговый) (2) для приведения в движение транспортера с различными скоростями; вибрационный двигатель (3), установленный на вибрационном столе для перемещения яиц в блок позиционирования; электрический шкаф (4), в котором размещены все электрические компоненты (реле, частотные преобразователи, защитные электронные компоненты, выключатели, контакторы, распределители); вибрационный стол (5) для предварительного размещения яиц перед сепарацией, обеспечивающий автоматическое перемещение яиц в блок позиционирования; сепарационный стол (6), служащий местом распределения сепарированных яиц; блок позиционирования (7), представляющий собой устройство, в котором яйцо автоматически устанавливается на транспортер в требуемое положение для просвечивания и анализа необходимых характеристик (конструкция блока изготовлена из пластин особой геометрической формы, помогающих яйцу встать в нужное положение, с помощью струи воздуха яйцо помещается на транспортер без повреждений); блок анализа (8), состоящий из стереокамер глубины Intel RealSense D456 (обеспечивающих получение трехмерных изображений), при необходимости – источника подсветки и вычислительного модуля на базе Raspberry Pi 5 с программным обеспечением для трехмерной реконструкции и анализа морфометрических параметров яйца, в котором происходит анализ яиц, отбор по пригодности к инкубации, распознавание пола эмбриона, после чего выдается сигнал на стойку управления о принятом решении на основании обученной системы искусственного интеллекта; сепарационный блок (9), состоящий из механизма распределения, который работает по сигналу от стойки управления установки и отделяет яйца, пригодные к инкубации и с эмбрионами «курочка», и яйца с эмбрионами «петушок»; транспортер (10), предназначенный для перемещения яиц между блоками установки до сепарационного стола; корпус (11), изготовленный из нержавеющей стали, служащий рамой для монтажа всех блоков и компонентов установки.

По результатам расчетов определены основные технические характеристики спроектированной установки. Производительность установки составляет 240 шт/час при скорости движения ленты 0,02 м/с, ширина ленты – 65 мм, длина конвейера – 2 м. Установка оснащается шаговым электродвигателем NEMA 51 с моментом удержания 35 Н·м и частотой вращения 200 об/мин, стойкой управления NC210 BALT SYSTEMS, энкодерными датчиками E40H10-1024-3-T-24 и камерой SSP-SWIR-500. Приводной барабан имеет диаметр 67 мм и длину 65 мм с

частотой вращения 6,1 об/мин. Предусмотренная конфигурация оборудования обеспечивает плавную регулировку скорости транспортной ленты с возможностью полной остановки и плавного пуска, что критически важно для точной настройки работы системы технического зрения и сепарационного аппарата.

Предложенная концептуальная модель позволяет на базе доступных и промышленно апробированных компонентов (Intel RealSense D456, Raspberry Pi 5) реализовать автоматизированное определение морфологических параметров куриных яиц и раннее прогнозирование пола эмбриона с последующей сепарацией.

В шестой главе «Биологическая и экономическая эффективность использования кур разных генетических групп и технологической установки для сортировки яиц» проведена комплексная оценка биологической и экономической эффективности использования кур яичных кроссов разных генетических групп, а также аппаратно-программного комплекса для оценки и сортировки инкубационных яиц.

Для оценки биологической эффективности использования кур родительского стада разработан индекс биологической ценности кур (ИБЦ):

$$\text{ИБЦ} = \frac{\left(\left(\frac{K_{\text{п.}}}{K_0}\right) \cdot V_{\text{м}} \cdot \Pi\right)}{100T}, \quad (3)$$

где $K_{\text{п}}$ - количество яиц пригодных к инкубации, шт; K_0 - количество снесенных яиц за продуктивный период, шт; $V_{\text{м}}$ - вывод молодняка, %; Π - индекс качества потомства, ед; T - коэффициент продолжительности продуктивного периода, $T = \frac{105}{420+105} = 0,8$, 420 – дни, период яйценоскости курицы; 105 – дни, возраст курицы на начало яйценоскости.

Количество яиц пригодных к инкубации ($K_{\text{п}}$, штук) было определено путем анализа их оплодотворенности методом разбивания контрольной партии яиц (1% от заложенных в инкубатор). Затем была проведена визуальная оценка и овоскопирование с целью определения свежести, оценки качества скорлупы и выявления дефектов. Свежесть яиц определяли по состоянию, расположению и величине воздушной камеры.

Количество снесенных яиц за продуктивный период (K_0 , штук) было определено путем ежедневного сбора и учета яйценоскости (суммарное количество полученных яиц) кур по генетическим группам (кроссам):

$$K_0^{(j)} = \sum_{i=1}^n Q_i^{(j)}, \quad (4)$$

где $K_0^{(j)}$ — количество снесенных яиц за продуктивный период по j -й генетической группе (кроссу), штук; $Q_i^{(j)}$ – количество яиц, снесенных в i -й день учета по j -й группе; n — продолжительность продуктивного периода, дни.

Вывод молодняка (V_m , %) определяли:

$$V_m = \frac{K_{ц}}{K_{я}} \cdot 100\%, \quad (5)$$

где V_m – вывод молодняка, %; $K_{ц}$ — количество полученных кондиционных суточных цыплят, голов; $K_{я}$ – количество яиц, заложенных в инкубатор, штук.

Индекс качества потомства Π :

$$\Pi = \left(C \cdot I_{я} \cdot \frac{M_{я}}{K_1} \right) / 10000, \quad (6)$$

где C – сохранность птицы от рождения до завершения продуктивного периода, %; $I_{я}$ – интенсивность яйценоскости кур, %; $M_{я}$ – яичная масса, кг; K_1 – затраты корма на 1 кг яичной массы, кг.

Сохранность птицы от рождения до завершения продуктивного периода (C , %) было определено путем ежедневного учета и в последующем рассчитано как отношения количества поголовья на конец учетного периода к количеству суточных цыплят в анализируемых группах выраженное в процентах:

$$C = \frac{K_k}{K_n} \cdot 100\%, \quad (7)$$

где K_k — количество поголовья на конец учётного периода, голов; K_n — количество суточных цыплят в анализируемых группах (на начало учётного периода), голов.

Интенсивность яйценоскости кур ($I_{я}$, %) – это отношение количества снесенных яиц на количество кормодней выраженное в процентах:

$$I_{я} = \frac{K_{я}}{K_{корм}} \cdot 100\%, \quad (8)$$

где $K_{я}$ – количество снесенных яиц за учётный период, штук; $K_{корм}$ – количество кормодней (среднее поголовье × количество дней учетного периода).

Яичная масса ($M_{я}$, кг) – суммарная масса яиц снесенных курами-несушками промышленного стада за учетный период. Для определения яичной массы еженедельно взвешивали полученное яйцо от кур, размещенных в контрольных клетках. Полученное среднее значение массы яиц было использовано при определении количества яичной массы по каждой генетической группе (кроссу) за весь продуктивный период:

$$M_{я} = \bar{m} \cdot K_0, \quad (9)$$

где $M_{я}$ — яичная масса за продуктивный период, кг; $\bar{m}$ — средняя масса одного яйца за продуктивный период (по данным еженедельных взвешиваний), кг.

Затраты корма на 1 кг яичной массы (K_1 , кг) это отношение количества потребленного корма на суммарную яичную массу. Количество потреблённого корма определяли путем контрольного кормления один раз

в месяц. При этом учитывали количество заданных и съеденных кормов в три смежных дня:

$$K_1 = \frac{C_{\text{корм}}}{M_{\text{я}}}, \quad (10)$$

где $C_{\text{корм}}$ – среднесуточное потребление корма (определённое по данным трёх смежных дней контрольного кормления), кг.

Экономическая оценка использования кур разных генетических групп (таблица 5) проводилась с учетом затрат на кормление, содержание, ветеринарное обслуживание и амортизацию оборудования за полный продуктивный цикл.

Таблица 5 – Биологическая эффективность использования кур родительского стада разных генетических групп

Показатель	Группа/Кроссы			
	1	2	3	4
	«Ломан Браун Классик»	«Браун Ник»	«Корал»	«Супер Ник»
Продолжительность продуктивного периода, дни	420			
Количество снесенных яиц за продуктивный период, шт.	360	364	369	357
Количество яиц пригодных к инкубации, шт.	320	329	341	330
Вывод цыплят, %	83,4	85,3	87,6	87,7
Сохранность птицы от рождения до завершения продуктивного периода, %	96,3	93,5	95,4	91,7
Интенсивность яйценоскости кур, шт.	380	371	389	347
%	90,5	88,3	92,6	82,6
Средняя масса яйца, г	64,5	64,1	63,5	63,7
Яичная масса, кг	24,51	23,78	25,09	22,11
Затраты корма на 1 кг яичной массы, кг	2,04	2,08	1,93	2,17
Индекс качества потомства	10,47	9,44	11,48	7,72
Индекс биологической ценности кур	9,71	9,13	11,61	7,37

Наибольший индекс биологической ценности кур выявлен в генетической группе «Корал» (11,61), что существенно превосходит показатель в группе «Супер Ник» на 57,5 % (7,37), «Ломанн Браун Классик» на 19,6 % (9,71) и «Браун Ник» на 27,2 % (9,13). Индекс качества потомства также оказался максимальным в группе «Корал» (11,48), что выше показателя в группе «Супер Ник» на 48,7 %.

Экономическая оценка использования кур разных генетических групп показала, что минимальная себестоимость 10 штук яиц установлена в группе кур кросса «Корал» (50,02 руб.), что ниже по сравнению с

группами «Ломанн Браун Классик» на 2,15 руб., «Браун Ник» на 1,53 руб. и «Супер Ник» на 0,93 руб. Максимальный уровень рентабельности производства яиц также выявлен в группе «Корал» (47,9 %).

Использование аппаратно-программного комплекса для оценки и отбора инкубационных яиц способствовало повышению точности определения оплодотворяемости яиц на 5,1 %, увеличению вывода цыплят на 5,0 % и количества кондиционных цыплят на 1,2 %, а также снижению инкубационного брака на 4,9 %. Совокупная прибыль от внедрения проектного варианта составила 6210,4 руб., что выше базового варианта на 39,2 %, а совокупный уровень рентабельности увеличился с 26,5 % до 35,6 %.

Результаты инкубации яиц и параметры эффективности использования аппаратно-программного комплекса представлены в таблице 6.

При прогнозировании пола цыплят на стадии до инкубации получен коэффициент прогноза пола на уровне 0,87. Выход кондиционных курочек составил 96,6 %, что позволило исключить затраты на выращивание нежелательных петушков. Инкубационный брак был снижен: «замершие» – на 1,2 %, «задохлики» – на 3,5 %. Экономическая оценка реализации суточных курочек при использовании проектного варианта показала, что прибыль составила 11988,85 руб., что выше в 3,2 раза по сравнению с базовым вариантом, а рентабельность увеличилась с 23,3 % до 162,2 % (в 6,9 раза).

Совокупная прибыль от использования технологии машинного зрения с глубоким обучением нейросети для оценки качества инкубационных яиц и прогнозирования пола цыплят составила 18199,25 руб. в расчёте на 1000 штук отобранных на инкубацию яиц, что выше базового варианта в 2,4 раза. Дополнительный доход от реализации яиц, непригодных к инкубации (как пищевых), при использовании проектного варианта составил 4114,4 руб., что значительно выше базового варианта (725,2 руб.), что также повышает общую экономическую эффективность технологической линии.

Разработанная технологическая установка машинного зрения и искусственного интеллекта показала высокую биологическую и экономическую эффективность, что позволяет рекомендовать её для внедрения на птицеводческих предприятиях с целью автоматизации процессов сортировки яиц, оценки их качества и раннего прогнозирования пола эмбриона, обеспечивая повышение рентабельности производства и снижение затрат на выращивание нежелательного поголовья.

Таблица 6 – Показатели эффективности аппаратно-программного комплекса и технологической установки при прогнозировании пола цыплят на стадии до инкубации яиц

Показатель	Базовый вариант	Проектный вариант
Отобрано для проверки инкубационных яиц, шт.	945	945
Общая себестоимость инкубационных яиц, руб. в том числе 10 шт. руб.	6733,13 70,25	
Средняя масса яйца, г	60,9	60,3
Оплодотворенность яиц, шт./%	847/89,6	895/94,7
Коэффициент прогноза пола цыплят	-	0,87
Количество яиц с прогнозируемым полом цыплят в том числе петушки курочки	- - -	779 390 389
Заложено на инкубацию яиц, шт.	847	389
Вывод цыплят, гол. %	720 85	354 91
Замершие, шт./%	20/2,4	5/1,2
Задохлики, шт./%	67/7,9	17/4,4
Получено кондиционных цыплят, гол %, в том числе: петушков, гол/%; курочек, гол/%	702 97,5 354/50,4 348/49,6	352 99,3 12/3,4 340/96,6
Общая себестоимость суточных цыплят, руб.	16093,42	7391,15
Цена реализации суточных курочек, руб./гол Выручка от реализации всего поголовья суточных курочек, руб	57,00 19836,00	57,00 19380,00
Прибыль (убыток) от реализации суточных курочек, руб.	3742,58	11988,85
Рентабельность, %	23,3	162,2
Реализовано яиц (как пищевое) непригодных к инкубации, шт.	98	556
Общая себестоимость яиц непригодных к инкубации (как пищевое), руб.	688,45	3905,90
Цена реализации 10 шт. яиц, руб.	74,00	
Доход от реализации яиц, руб.	725,20	4114,40
Прибыль (убыток), руб.	36,75	208,5
Уровень рентабельности, %	5,3	
Совокупная прибыль, руб.	3779,33	12197,35
Совокупный уровень рентабельности, %	22,5	108,0

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных исследований по анализу технологии производства инкубационных яиц, комплексной оценке яичной продуктивности и качества яиц кур разных генетических групп, а также разработке аппаратно-программного комплекса для автоматизации процессов сортировки и сексирования позволяют сформулировать следующие основные выводы и положения, выносимые на защиту:

1. Созданная на предприятии система кормления и содержания (бункерная система хранения кормов вместимостью 21,26 м³, транспортёры производительностью 2,6 т/ч, клеточные батареи ТБЦУМ и ТБР) обеспечивает полную реализацию наследственного потенциала

продуктивности. Установленные параметры: плотность посадки 350 см²/гол для молодняка и 600 см²/гол для взрослой птицы, фронт кормления 11,4 см/гол, фронт поения 5,3–8 голов на ниппель. Температурно-влажностный режим (от +35...+36 °С в первые сутки до +18...+20 °С с 5-й недели при влажности 60–70%) и световая программа (сокращение освещения с 24 ч (50 лк) до 9 ч (5 лк)) обеспечили сохранность поголовья на уровне 96,1–97,4 % (максимум у кроссов «Корал» и «Супер Ник»).

2. Выявлено, что реализация биологического потенциала на 85% зависит от условий внешней среды. Установлена высокая корреляционная связь между массой яйца и массой суточного цыпленка ($r = 0,78$), а также между живой массой в 5-недельном возрасте и последующей продуктивностью ($r = 0,94$).

3. Индекс формы яйца у коричневых кроссов («Ломанн Браун Классик» – 0,763; «Браун Ник» – 0,761) достоверно выше ($p \leq 0,05$ – $0,01$), чем у белых кроссов («Корал» – 0,752; «Супер Ник» – 0,756), что указывает на более округлую форму яиц. Яйца округлой формы (индекс формы 0,695–0,734) имели достоверно ($p < 0,05$) большую массу белка (на 5,1%) и массу скорлупы (на 3,8%) по сравнению с вытянутыми (0,775–0,815).

4. Относительная масса белка составила 58,2–58,8 %, желтка – 27,3–28,6 %, скорлупы – 13,2–14,1 %. Толщина скорлупы варьировала от 0,397 мм (кросс «Супер Ник») до 0,453 мм (кросс «Ломанн Браун Классик», $p \leq 0,001$). С возрастом кур (с 25 до 80 недель) масса яйца увеличилась на 24,2% (с 53,2 г до 66,1 г), масса желтка – на 36,5% ($p \leq 0,001$), масса белка – на 20,1% ($p \leq 0,001$), при этом высота белка снизилась на 21,6% ($p \leq 0,001$).

5. Яйца оптимальной массы 55–70 г обладают достоверно более высокими инкубационными качествами: оплодотворенность – 93,9–94,6 %, выводимость – 91,7–92,8 %. У яиц массой до 55 г эти показатели составили 88,7 % и 85,2 % соответственно ($p \leq 0,001$). Живая масса суточных цыплят из яиц массой 55–70 г была на 20,7–22,2 % выше (40,3–40,8 г против 33,4 г), чем из мелких яиц ($p \leq 0,001$).

6. Разработана формула индекса формы яйца: $I_{\text{form}} = (S_{\text{trans}} / S_{\text{long}}) \cdot \sin \alpha$. Впервые выявлены морфометрические маркёры пола эмбриона: петушки выводятся из яиц с большей малой полуосью (2,8 см против 2,6 см, $p \leq 0,05$) и меньшим углом острого конца (96,8° против 102,2°, $p \leq 0,001$). Индекс формы яйца для петушков варьирует в диапазоне 0,548–0,815, для курочек – 0,546–0,749.

7. Разработаны и валидированы две нейросетевые архитектуры:

Регрессионная модель прогнозирования яйценоскости по 5 экстерьерным промерам (многослойный перцептрон с 4 скрытыми слоями, 12 161 обучаемый параметр). Бинарный классификатор определения пола эмбриона по 8 геометрическим параметрам яйца (3 скрытых слоя, 3 393 параметра, выходная сигмоидальная активация). При тестировании на

независимой выборке общая точность (Accuracy) составила 87,5 % (44 верных из 50). Precision для класса «курочка» – 94,74 %, Recall – 78,26 %, F1-score – 85,72 %. Коэффициент прогноза пола – 0,87.

8. Разработана концептуальная модель установки для анализа морфометрических параметров и сепарации яиц (длина 2000 мм, ширина 650 мм, высота 850 мм, ширина конвейерной ленты 65 мм, расстояние между яйцами 300 мм). Обоснован выбор аппаратно-программного комплекса: стереокамеры глубины Intel RealSense D456 и вычислительный модуль Raspberry Pi 5. Проведён расчёт конвейерной линии: скорость тягового элемента 0,02 м/с, производительность 240 шт/час, максимальное натяжение ленты 606,66 Н, мощность электродвигателя 0,023 кВт, выбран шаговый двигатель NEMA 51 (момент удержания 35 Н·м).

9. Наибольший индекс биологической ценности кур (ИБЦ) выявлен у кросса «Корал» (11,61), что выше, чем у кросса «Ломанн Браун Классик» на 19,6 % (9,71), «Браун Ник» – на 27,2 % (9,13) и «Супер Ник» – на 57,5 % (7,37). Минимальная себестоимость 10 шт. яиц – у кросса «Корал» (50,02 руб.), рентабельность – 47,9 %. Прибыль от реализации 1 головы молодняка максимальна у кросса «Супер Ник» – 84,78 руб. (рентабельность выращивания 53,1 %).

10. Внедрение аппаратно-программного комплекса для оценки и отбора инкубационных яиц повысило оплодотворяемость на 5,1 %, вывод цыплят – на 5,0 %, снизило инкубационный брак на 4,9 %. Совокупная прибыль от внедрения составила 6 210,4 руб., рентабельность увеличилась с 26,5 % до 35,6 %. При прогнозировании пола до инкубации выход кондиционных курочек составил 96,6 %, прибыль от реализации суточных курочек возросла в 3,2 раза (с 3 742,58 руб. до 11 988,85 руб.), рентабельность увеличилась с 23,3 % до 162,2 % (в 6,9 раза). Совокупная прибыль в расчёте на 1000 отобранных яиц составила 18 199,25 руб., что выше базового варианта в 2,4 раза.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

На основании проведенных исследований рекомендуем:

1. Птицеводческим предприятиям яичного направления продуктивности Удмуртской Республики для производства инкубационного и пищевого яйца использовать кур кроссов «Ломанн Браун Классик», «Браун Ник», «Корал», что позволит увеличить резервы производства высококачественного яйца и повысить рентабельность отрасли.

2. Промышленным птицеводческим предприятиям внедрить в производство автоматизированную систему отбора яиц для инкубации и аутосексинга на ранней стадии развития эмбриона, что позволит эффективно вести оценку, сортировку и отбор пищевых и инкубационных яиц, а также контролировать технологические условия содержания и корректировать системы кормления птицы.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Продолжить исследование по изучению методов и приемов, обеспечивающих высокую степень реализации генетического потенциала молодняка кур и кур-несушек за счет выявления закономерностей наследования биологических особенностей разных генетических групп птицы, раннего прогнозирования продуктивных и репродуктивных качеств, качества инкубационного яйца и степени пригодности к инкубации, выявление технологических аспектов установления оптимальных режимов инкубации с использованием цифровых технологий определения состояния эмбриона в разные периоды инкубации. Полученные результаты позволят повысить уровень воспроизводства сельскохозяйственной птицы и эффективность птицеводческой отрасли.

Основные материалы диссертации опубликовано в следующих работах

В рецензируемых изданиях, рекомендованных перечнем ВАК РФ:

1. Баранова, И. А. Реализация энергосберегающего режима освещения в птицеводческом помещении за счет автоматизированной системы управления / И. А. Баранова, С. Д. Батанов, Т. А. Широбокова // Вестник НГИЭИ. – 2019. – № 2(93). – С. 37-47.
2. Баранова, И. А. Светодиодное освещение птичника с программой регулирования / И. А. Баранова, Т. А. Широбокова, И. М. Новоселов // Вестник НГИЭИ. – 2021. – № 5(120). – С. 42-52. – DOI 10.24412/2227-9407-2021-5-42-52.
3. Определение числовых значений экстерьера с использованием мобильных систем и информационных технологий / И. А. Баранова, С. Д. Батанов, О. С. Старостина [и др.] // Техника и технологии в животноводстве. – 2022. – № 3(47). – С. 16-20. – DOI 10.51794/27132064-2022-3-16.
4. Мобильные измерительные системы как инструмент для достоверного определения параметров экстерьера животных, живой массы и установления их взаимосвязи с интенсивностью роста / С. Д. Батанов, О. С. Старостина, И. А. Баранова [и др.] // Аграрная наука. – 2022. – № 11. – С. 141-146. – DOI 10.32634/0869-8155-2022-364-11-141-146.
5. Использование мобильных систем с разным программным обеспечением при определении параметров телосложения животных / И. А. Баранова, С. Д. Батанов, О. С. Старостина [и др.] // Аграрная наука. – 2022. – № 11. – С. 128-132. – DOI 10.32634/0869-8155-2022-364-11-128-132.
6. Влияние возраста кур-несушек на морфометрические показатели яиц / С. Д. Батанов, И. А. Баранова, О. С. Старостина [и др.] // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. – 2023. – Т. 255, № 3. – С. 55-61. – DOI 10.31588/2413_4201_1883_2_255_55.
7. Использование мобильных измерительных систем при определении морфометрических параметров и оценке качества яиц кур / С. Д. Батанов, И. А. Баранова, О. С. Старостина [и др.] // Птицеводство. – 2023. – № 11. – С. 65-71. – DOI 10.33845/0033-3239-2023-72-11-65-71.

8. Морфометрические показатели яиц кур разных кроссов / С. Д. Батанов, И. А. Баранова, О. С. Старостина [и др.] // Зоотехния. – 2023. – № 8. – С. 22-26. – DOI 10.25708/ZT.2023.73.22.006.

9. Яичная продуктивность и морфометрические параметры яиц кур-несушек кросса «Эйч энд эн Браун Ник» / С. Д. Батанов, Е. И. Шкарупа, И. А. Баранова [и др.] // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2024. – № 5(77). – С. 178-189. – DOI 10.32786/2071-9485-2024-05-19.

10. Влияние морфометрических параметров яиц на результаты инкубации и выращивание ремонтного молодняка / С. Д. Батанов, Е. И. Шкарупа, И. А. Баранова [и др.] // Птица и птицепродукты. – 2024. – № 6. – С. 30-33. – DOI 10.30975/2073-4999-2024-26-6-30-33.

11. Влияние морфометрических параметров инкубационных яиц на последующую продуктивность кур-несушек кросса «Браун Ник» / С. Д. Батанов, Е. И. Шкарупа, И. А. Баранова [и др.] // Птица и птицепродукты. – 2025. – № 1. – С. 12-14. – DOI 10.30975/2073-4999-2025-27-1-12-14.

12. Баранова, И. А. Разработка программного комплекса для оценки экстерьера сельскохозяйственных животных с использованием технологии машинного зрения / И. А. Баранова, С. Д. Батанов, О. С. Старостина, В. Г. Борулько // Техника и технологии в животноводстве. – 2026. – Т. 16, № 2. – С. 31-39. – DOI: 10.22314/27132064-2026-16-2-31.

13. Баранова И.А. Комплексный подход к оценке качества и отбора яиц для инкубации на основе компьютерного зрения // Наука в Центральной России. – 2026. – Т. 81. – № 3. – С. 132-137. – DOI: 10.35887/2305-2538-2026-3-132-137.

Публикации в других журналах:

1. Кондратьева Н.П. Развитие средств автоматизации для управления световым режимом в птицеводстве / Н. П. Кондратьева, С. И. Юран, И. Р. Владыкин, Баженов В.А., Баранова И.А., Батурин А.И. // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 2(58). – С. 52-61.

2. Совершенствование систем автоматического регулирования освещения в птицеводстве / Н. П. Кондратьева, И. А. Баранова, С. И. Юран [и др.] // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 1(57). – С. 57-67.

Статьи в журналах, включенные в базы данных Scopus и Web of Science:

1. Implementation of the energy-saving lighting mode in the poultry-farming house due to the automated control system / I. Y. Loshkarev, T. A. Shirobokova, I. A. Baranova, S. D. Batanov // Journal of Physics: Conference Series : The International Conference "Information Technologies in Business and Industry", Novosibirsk, 18–20 февраля 2019 года. Vol. 1333. – IOP Publishing: IOP Publishing, 2019. – P. 042019. – DOI 10.1088/1742-6596/1333/4/042019.

2. Batanov, S. Innovative methods in study of animal's conformation / S. Batanov, I. Baranova, O. Starostina // Bulgarian Journal of Agricultural Science. – 2020. – Vol. 26, No. 6. – P. 1286-1291.

3. Morphological Indicators of Egg Quality of Chickens at Different Ages and Their Interrelation in the Reproductive Period / S. Batanov, I. Baranova, O. Starostina [et al.] // II International Conference “Sustainable Development: Agriculture, Veterinary Medicine and Ecology” (VMAEE-II-2023), Karshi, 21–22 апреля 2023 года. Vol. 3011. – New York: AIP PUBLISHING, 2023. – P. 20026. – DOI 10.1063/5.0161542.

4. The influence of morphological parameters of eggs on the results of incubation / S. Batanov, I. Baranova, O. Starostina, E. Shkarupa // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 118. – P. 01027. – DOI 10.1051/bioconf/202411801027.

5. The influence of morphological parameters of incubation eggs on the growth and development of repair young / S. D. Batanov, I. A. Baranova, O. S. Starostina [et al.] // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 108. – P. 01033. – DOI 10.1051/bioconf/202410801033.

В патентах и свидетельствах РФ:

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018662028 Российская Федерация. Программа регулирования освещенности для птицеводческих помещений: № 2018615277: заявл. 25.05.2018: опубл. 25.09.2018 / И. А. Баранова, Т. А. Широбокова, С. Д. Батанов; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ижевская государственная сельскохозяйственная академия».

2. Патент № 2769731 С2 Российская Федерация, МПК А01К 11/00. Способ определения числовых значений экстерьера животных: № 2020127145: заявл. 12.08.2020: опубл. 05.04.2022 / С. Д. Батанов, И. А. Баранова, О. С. Старостина; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Ижевская государственная сельскохозяйственная академия".

3. Патент № 2764307 С1 Российская Федерация, МПК А01К 67/00, А01К 67/02. Способ определения комплексного индекса телосложения и экстерьерно-конституционального типа животных: заявл. 29.12.2020: опубл. 17.01.2022 / С. Д. Батанов, И. А. Баранова, О. С. Старостина; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Ижевская государственная сельскохозяйственная академия".

4. Патент № 2829563 С1 Российская Федерация, МПК А01К 43/00. Способ определения морфометрических параметров яиц: № 2023126322: заявл. 13.10.2023: опубл. 31.10.2024 / С. Д. Батанов, И. А. Баранова, О. С. Старостина [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Удмуртский государственный аграрный университет".

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025661668 Российская Федерация. Программа регулирования микроклиматом в инкубационной камере: заявл. 22.04.2025: опубл. 12.05.2025 / И. А. Александров, Т. А. Широбокова, И. Г. Пospelova [et al.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Удмуртский государственный аграрный университет».

В материалах международных и всероссийских научных конференциях:

1. Mobile measuring systems as a reliable tool to evaluate animal exterior parameters, body weight, and determine the relationship with growth intensity / S. Batanov, O. Starostina, I. Baranova [et al.] // Перспективы развития аграрных наук agrosience-2022: Материалы Международной научно-практической конференции, Чебоксары, 12 апреля 2022 года. – Чебоксары: Чувашский государственный аграрный университет, 2022. – P. 51.

2. Application of mobile systems with various software products to determine animal conformation parameters / I. Baranova, S. Batanov, O. Starostina [et al.] // Перспективы развития аграрных наук agrosience-2022: Материалы Международной научно-практической конференции, Чебоксары, 12 апреля 2022 года. – Чебоксары: Чувашский государственный аграрный университет, 2022. – P. 50.

3. Оценка эффективности инкубаторов / Т. А. Широбокова, И. А. Александров, Л. А. Шувалова, И. А. Баранова // Актуальные проблемы энергетики АПК: Материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко, Саратов, 18 апреля 2025 года. – Саратов: Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, 2025. – С. 455-462.

4. Инновационный способ определения живой массы сельскохозяйственных животных / И.А. Баранова, А.А. Лекомцева, О.С. Старостина, С.Д. Батанов // Совершенствование инженерно-технического обеспечения производственных процессов и технологических систем: материалы национальной научно-практической конференции с международным участием. – Оренбург: ФГБОУ ВО Оренбургский ГАУ, 2026. – Ч. 2. – С. 373–377.

5. Анализ морфологических параметров яиц у кур-несушек кросса Браун Ник и их связь с качеством и выводимостью цыплят / И.А. Баранова, С.Д. Батанов, О.С. Старостина, К.А. Батурина // Совершенствование инженерно-технического обеспечения производственных процессов и технологических систем: материалы национальной научно-практической конференции с международным участием. – Оренбург: ФГБОУ ВО Оренбургский ГАУ, 2026. – Ч. 2. – С. 377–381.

6. Бесконтактный цифровой метод оценки экстерьера кур для промышленного птицеводства / И.А. Баранова, С.Д. Батанов, О.С. Старостина, К.А. Батурина // Совершенствование инженерно-технического обеспечения производственных процессов и технологических систем: материалы национальной научно-практической конференции с международным участием. – Оренбург: ФГБОУ ВО Оренбургский ГАУ, 2026. – Ч. 2. – С. 381–385.