МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
УДМУРТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕСИТЕТ

На правах рукописи

Баранова Ирина Андреевна

Биологические, технологические и технические аспекты производства куриных яиц, оценка их физических, морфологических параметров и инкубационных качеств

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

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук

Научный консультант:
доктор сельскохозяйственных наук,
профессор Батанов Степан Дмитриевич

Ижевск 2026 г

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ..... 6
ГЛАВА 1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ..... 19
1.1 Хозяйственно-биологические особенности кур яичного направления продуктивности разных генетических групп..... 19
1.1.1 Биологические особенности постэмбрионального роста и развития молодняка кур и экстерьерные особенности птицы яичных кроссов..... 19
1.1.2 Яичная продуктивность и качественные параметры пищевых и инкубационных яиц..... 31
1.2. Особенности кормления и содержания ремонтного молодняка и кур несушек..... 37
1.3 Анализ цифровых информационных технологий, применяемых в птицеводстве..... 52
1.3.1 Эволюция и классификация цифровых решений в птицеводстве……53
1.3.2 Технологии искусственного интеллекта и компьютерного зрения 55
1.3.3 Прогнозная аналитика и системы поддержки принятия решений 55
1.3.4 Эмпирический анализ внедрения инновационных и цифровых технологий..... 56
1.3.5 Проблемы и ограничения цифровой трансформации..... 58
1.4 Анализ технологии инфракрасной идентификации и оценка перспектив использования в птицеводстве..... 60
1.5 Выводы по главе 1..... 63
ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ..... 66
2.1 Обоснование генотипических и паратипических факторов в реализации биологического потенциала сельскохозяйственной птицы..... 66
2.2 Инкубация яиц, факторы влияющие на результаты инкубации и качество суточных цыплят..... 75
2.3 Обоснование технологической применимости инфракрасной системы для получения изображений..... 79
2.4 Теоретические основы цифровизации процессов анализа параметров телосложения кур и морфометрических показателей яиц..... 87
2.5 Обоснование технологической применимости искусственного интеллекта 90

2.6 Методология сбора обучающего датасета для обучения моделей искусственного интеллекта 95
2.7 Методика обучения модели искусственного обучения в задаче получения изображений в птицеводстве 102
2.8 Исследование совместимости результатов модели искусственного интеллекта и визуального распознавания 111
2.9 Выводы по главе 2..... 116
ГЛАВА 3 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПРОТОТИПИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВИЗУАЛЬНОГО РАСПОЗНОВАНИЯ……120
3.1 Методология анализа основных биолого-хозяйственных особенностей сельскохозяйственной птицы 120
3.2 Выбор средств и методика изучения параметров роста, экстерьера ремонтного молодняка, кур-несушек и морфометрических показателей яиц……..135
3.3 Методология математического моделирования процессов анализа биолого-хозяйственных особенностей сельскохозяйственной птицы 148
3.3.1 Теоретические предпосылки моделирования оценки экстерьера кур несушек и морфологических параметров яиц 148
3.3.2 Применение цифровых информационных технологий в птицеводстве……...153
3.3.3 Построение математической модели оценки экстерьера кур-несушек и морфометрических параметров яиц по трехмерным изображениям 156
3.3.4 Результаты работы программы по оценке экстерьера кур-несушек и морфометрических параметров яиц..... 172
3.3.5 Математическая модель обнаружения дефектов скорлупы инкубационных яиц 180
3.3.6 Математическая модель классификации оплодотворенности и ранней гибели эмбриона..... 189
3.3.7 Результаты нейросетевого анализа морфометрических параметров, дефектов скорлупы и оплодотворенности инкубационных яиц..... 194
3.4 Выводы по главе 3..... 205
ГЛАВА 4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ..... 208
4.1 Технология кормления и содержания ремонтного молодняка и кур-несушек родительского стада 208

4.1.1 Анализ условий содержания ремонтного молодняка и кур-несушек родительского стада 209
4.1.2 Анализ условий кормления ремонтного молодняка, кур-несушек и петухов родительского стада 232
4.2 Анализ интенсивности роста, формирования телосложения и оценка экстерьерных особенностей кур разных генетических групп 237
4.2.1 Динамика живой массы и среднесуточных приростов ремонтного молодняка 239
4.2.2 Оценка экстерьерных особенностей и формирование телосложения ремонтного молодняка и кур яичных кроссов 246
4.3 Анализ и оценка яичной продуктивности, качества яиц кур разных генетических групп и продуктивного периода 253
4.3.1 Яичная продуктивность кур разного продуктивного периода 254
4.3.2 Физико-морфологические параметры яиц кур-несушек 262
4.4 Результаты инкубации и анализ качества суточных цыплят 285
4.5 Анализ параметров морфометрических и биофизических показателей инкубационных яиц и связь их с выводимостью 290
4.6 Разработка программы эффективной оценки, отбора и управления процессом сортировки яиц 307
4.6.1 Разработка нейросетевой модели прогнозирования продуктивности (яйценоскости) кур по экстерьерным показателям 308
4.6.2 Результаты прогнозирования яйценоскости кур на основе нейросетевой модели 317
4.6.3 Разработка нейросетевой модели определения пола эмбриона по геометрическим параметрам яйца 321
4.6.4 Результаты прогнозирования пола эмбрионов на основе нейросетевой модели 330
4.7 Выводы по главе 4 335
ГЛАВА 5 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ, АНАЛИЗА И СОРТИРОВКИ ЯИЦ 339
5.1 Обоснование перспективных направлений совершенствования технологий оценки и сортировки яиц 339
5.2 Разработка концептуальной модели установки сортировки куриных яиц 342
5.3 Расчет конвейерной линии установки определения морфологических параметров и сортировки яиц 352

5.4 Выводы по главе 5 360
ГЛАВА 6 БИОЛОГИЧЕСКАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КУР РАЗНЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ГРУПП И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ СОРТИРОВКИ ЯИЦ 363
6.1 Биологическая эффективность использования кур яичных кроссов разных генетических групп 363
6.2 Экономическая оценка использования кур яичных кроссов разных генетических групп 369
6.3 Экономическая оценка аппаратно-программного комплекса и технологической установки по анализу и сортировке яиц 377
6.4 Выводы по главе 6 385
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 387
РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ……..……..390
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 391
ПРИЛОЖЕНИЯ 432

ВВЕДЕНИЕ

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 перерабатывающими предприятиями – 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% [122]. 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 оптимизации 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 оптимизации управления технологическими процессами [42, 98].

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. Агафонычев, 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), C. Toksoz, M. Albayrak, H. Yasar (2021), А. В. Буяров (2024), С. Д. Батанов и др. (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), H. Willemsen (2010), I. Reijrink и др. (2007), S.D. Batanov и др (2024). Однако, нами не найдены сведения о влияния 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. Тюренкова (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. Водянников 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. Данквert (1999), Г.М. Джапаридзе (2013), Ju. H. So. и др. (2022), V.M. Nakaguchi и др. (2022), K.K. Çevik (2022), Michael Kjelland и др. (2012), Supakorn Harnsoongnoen и др. (2021), K. Pavedan и др. (2025), Sema Alasahan и др. (2014).

Российские ученные 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 сртиовки 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 подходе оценки 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 методов и разработаны автоматизированные приемы изучение закономерностей изменения качества и выявление 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 ме-

тоды, 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 выводимость 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 Agroscience-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 рамках 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 C1 Российская Федерация, МПК A01K 67/00, A01K 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 C2 Российская Федерация, МПК A01K 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 C1 Российская Федерация, МПК A01K 67/00, A01K 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. Поспелова [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Удмуртский государственный аграрный университет».

Публикация результатов исследований. Материалы диссертации изложены в 26 печатных работах, в том числе: 13 статей опубликовано в рецензируе-

мых 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 C1, МПК A01K 67/00, A01K 67/02, № 2769731 C2, МПК A01K 11/00, № 2806290 C1, МПК A01K 67/00, A01K 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 диссертационной работы. Диссертация изложена на 446 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.

ГЛАВА 1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1 Хозяйственно-биологические особенности кур яичного направления продуктивности разных генетических групп

Сельскохозяйственное птицеводство – интенсивно развивающейся отрасль в системе агропромышленного комплекса, характеризуется быстрыми темпами воспроизводства поголовья, интенсивным ростом молодняка, высокой продуктивностью родительского и промышленного стада, жизнеспособностью и продолжительным сроком хозяйственного использования. Сельскохозяйственная птица обладает высоким биологическим потенциалом, который характеризуется эффективной конверсией корма, дает продукцию с высокими диетическими свойствами, занимающая значительный удельный вес в питании населения и производится с наименьшими затратами трудовых ресурсов и материальных средств на единицу продукции [80, 195, 218].

В промышленном птицеводстве для получения продуктов питания (яйца, мясо) используют кур, индеек, уток, гусей, цесарок, а также перепелов, мускусных уток, фазанов, страусов, мясных голубей и куропаток. У всех видов сельскохозяйственной птицы можно выделить группу биологических признаков, которые под действием эволюции и искусственного отбора претерпели значительные изменения: яйценоскость, масса яиц, живая масса, половая зрелость, оплодотворенность и выводимость яиц, вывод цыплят, жизнеспособность, оплата корма продукцией. Наиболее существенные изменения в морфологии и физиологии отмечены у кур. Дикие банкивские куры – родоначальники современных кур – откладывают за 5–6 лет жизни около 30 яиц, а яйценоскость современных кур яичных кроссов за один продуктивный период составляет 330 яиц и более. Для уче-

ных и специалистов в яичном птицеводстве существенное значение имеют специфические признаки, по которым ведут оценку и отбор кур: интенсивность роста и развития, масса одного яйца, общая яичная масса за продуктивный период, окраска и мраморность скорлупы, качество и морфометрические параметры яиц.

1.1.1 Биологические особенности постэмбрионального роста и развития молодняка кур и экстерьерные особенности птицы яичных кроссов

Основной задачей отрасли птицеводства является повышение продуктивности сельскохозяйственной птицы и качества ее продукции для более полного удовлетворения потребностей населения в высококачественных продуктах питания.

Анализ современного состояния одного из ускоренно развивающихся отраслей мирового и отечественного животноводства, оцениваемое Буяровым А.В. (2024) и др. показал, что: «Птицеводство является наиболее наукоемкой и динамично развивающейся отраслью мирового и отечественного животноводства, обеспечивающей население физически и экономически доступными продуктами, содержащими биологически полноценный белок животного происхождения. В 2024 г. производство яиц во всех категориях хозяйств РФ составило 46,7 млрд. шт., что на 4,0% больше, чем в 2022 г. Было произведено на душу населения 319 шт. яиц. Потребление яиц на душу населения выросло с 265 шт. в 2010 г. до 288 шт. в 2023 г. (норма потребления Минздрава РФ — 260 шт.)» [34].

Анализируя закономерности формирования и развития хозяйственно-биологических особенностей птицы, Бессарабов Б.Ф. (2005; 2014), Штеле А. Л. (2013), Шаравьев В. (2015), Шашанов И.Р. и др. (2017), Куликов Е.И. и др. (2023), Bouvarel I. (2013) отмечают, что: «Биологической особенностью кур является способность откладывать полноценные яйца без оплодотворения. Это в равной

мере относится как к производству оплодотворённых инкубационных яиц (родительское стадо), так и неоплодотворённых пищевых (промышленное стадо). Современная биологическая концепция образования яиц гласит: после овуляции яйцеклетки по мере продвижения желтка по яйцеводу образуются белок и скорлупа, что завершается снесением полноценного яйца. В яйцеводе яйцо формируется в среднем за 22-24 ч, в том числе в воронке — 20 мин, в белковом отделе — 3 ч, в перешейке — 1 ч, в матке — 18-19 ч. У высокопродуктивных кур образование полноценного яйца (белок, скорлупа) в яйцеводе занимает 22-23 ч. Время формирования скорлупы в яйцеводе составляет 17-18 ч, или около 2/3 суток, что служит вторым по значимости фактором, ограничивающим яичную продуктивность кур» [21, 52, 207, 210, 238].

Анализируя эволюционный прогресс в совершенствовании биологических особенностей сельскохозяйственной птицы следует отметить, что за последние десятилетия генетика и селекция совершили огромный прорыв в направлении повышения скороспелости мясной и яичной птицы, уровня продуктивности и продолжительности продуктивного и племенного использования яичной птицы. Как пишут отечественные и зарубежные исследователи О.И. Станишевская и др. (2006), Царенко П. П. и др. (2009), Штеле А.Л. (2014), Fulton J. E. (2012), Steiner G. И др. (2011), Степаненко Н. (2020): «Это привело к тому, что современные кроссы сельскохозяйственной птицы существенно отличаются от своих предшественников по интенсивности роста, развития и продуктивности» [177, 182, 201, 213, 216, 266].

В своих исследованиях, Батанов С. Д., Баранова И. А., Анаников Я.Г. и др. (2023; 2024) отмечают, что: «Генетически адаптированные кроссы кур, оптимальные условия микроклимата и полноценность рационов кормления «усиливают» вероятность получения физиологически здоровых и пропорционально «развитых» цыплят, а также живой массы и среднесуточных приростов, а в перспективе

и высокую яичную продуктивность в соответствии с требованиями, которые предъявляют иностранные разработчики для ввозимых кроссов птицы» [45, 86].

В своих исследованиях Бобылева Г.А. (2005), Горелик О.В. и др. (2019), Кочиш И.И. и др. (2004; 2018) и ряд зарубежных ученных Toksoz C. (2021) отмечают, что «…породы яичных кур и кроссы, полученные на их основе, являются самой распространенной сельскохозяйственной птицей и широко используются в промышленном птицеводстве и в личных подсобных хозяйствах. Основной задачей яичного птицеводства является повышение продуктивности птицы, улучшение их репродуктивных показателей, инкубационных качеств яиц и пищевой ценности яичной продукции» [26, 56, 107, 317].

Воспроизводство сельскохозяйственной птицы и последующая реализация продуктивного и репродуктивного потенциала во многом зависит от ее эмбриональной жизнеспособности, выводимость яиц и вывод цыплят. На эти показатель, наряду с генетическими аспектами, оказывают существенное влияние температурно-влажностные и световые режимы содержания птицы, уровень и тип кормления, режимы инкубации, а также возраст птицы и ее живая масса. Исследованиями отечественных и зарубежных ученых установлено, что доля влияния генотипа на вывод цыплят, последующий их рост и развитие и проявление продуктивных и репродуктивных качеств составляет лишь 15%, тогда как доля влияния внешних факторов — 85%. В связи с этим обеспечение оптимальных условий для инкубации яиц, создание и внедрение автоматизированных систем на основе цифровых технологий по производству комбикормов, созданию оптимальных условий содержания в соответствии с физиологическими периодами развития и биологическими потребностями птицы является оправданным и необходимым. Многочисленными исследованиями установлено: «Грамотно организованное воспроизводство стада, выращивание молодняка кур в биологически

обоснованных условиях кормления и содержания – является определяющим звеном в динамично развивающейся отрасли птицеводства, в том числе производства инкубационного, пищевого яйца и мяса птицы. Генетически адаптированные кроссы кур, оптимальные условия микроклимата и полноценность рационов кормления «усиливают» вероятность получения физиологически здоровых и пропорционально «развитых» цыплят, а также живой массы и среднесуточных приростов в соответствии с требованиями, которые предъявляют иностранные разработчики для ввозимых кроссов птицы» [16, 19].

Изучая биологические закономерности формирования организма сельскохозяйственной птицы Бурдашкина В. (2012) и ряд других ученых установили, что: «…росту и развитию молодняка кур, как и другим видам сельскохозяйственных животных, свойственна периодичность фаз максимального роста и «замедления». При направленном выращивании молодняка особое значение приобретает знание временных периодов колебаний и своевременное реагирование на снижение (отставание) ростовых систем от нормативного «графика»» [16, 19, 91, 116, 117].

Продолжительное изучение ученными и исследования специалистами в условиях производства закономерностей формирования организма, биологических особенностей роста и развития молодняка птицы показали, что выращивание ремонтного молодняка условно можно разделить на три периода:

- первый – с суточного возраста до 8-недельного возраста
- второй - с 8 до 13 недель;
- третий – с 13 до 20 недель.

В первый период происходит рост и развитие всех внутренних органов, сердечно-сосудистой системы, мышечной и костной ткани, формирование скелета и оперения, становление ферментной и иммунной систем. Во второй период

развиваются жировая ткань (абдоминальный, подкожный, межклеточный и внутриклеточной жир), сухожилия и связки. В третий период усиленно развиваются воспроизводительные органы (репродуктивная система) и формируется телосложение, свойственное для яичных кур. В этот период происходит перестройка организма и биохимические изменения, затрагивающие все стороны обмена веществ. Под влиянием половых гормонов повышается удержание почти всех макро-и микроэлементов, увеличивается их уровень в крови, создаются резервы кальция, фосфора, натрия и других элементов в скелете» [4, 6, 12, 215].

Джагаев, А.Ю. (2022), Астраханцев А.А. (2008;2015;2022) результатами своих исследований установили, что: «Для формирования стада высокопродуктивными курами-несушками следует обращать внимание на достижение ими оптимальной массы в разные возрастные периоды: первые 8 недель, с 8 по 13-ю недели и с 13 по 20-ю недели. В соответствии с требованиями по живой массе, разработанными для разных кроссов, генетически обусловленная высокая интенсивность роста и развития молодняка возможна при биологически обусловленной разработке программы кормления, обеспечении постоянного доступа к свежей воде и комфортных условий содержания» [14, 15, 16, 64].

Все периоды выращивания молодняка кур «равноценны» по своему значению, но тем не менее, особо важным является первый период, особенно 4-5 недель, то есть, чему «мы позволим полноценно развиться в организме» цыпленка, то и получим в продуктивный период. Ряд авторов результатами своих исследований, проводимые при оценке племенного и промышленного стада птицы, показали, что: «Одним из основных показателей, характеризующих оптимальность роста и развития стада птицы является «однородность», то есть без отклонений от нормативной динамики роста и развития. Птица, имеющая живую массу в пределах ± 10% от средней величины, является однородной в стаде. При данном отклонении однородность должна быть не менее 80%» [9, 15, 37, 46].

Следует отметить, что на рост цыплят большое влияние оказывают и стрессы, присущие интенсивному промышленному птицеводству. Это прежде всего вакцинация, транспортировка, сортировка и др. Они вызывают в организме птицы глубокие биохимические изменения, сопровождающиеся функциональными и морфологическими изменениями в органах и тканях животных, следствием чего является снижение их продуктивности и жизнеспособности. Поэтому изучение вопроса о влиянии происхождения цыплят на их рост в условиях транспортного стресса в первый период жизни (выращивание до 40 дней) имеет большое значение для дальнейшего развития птицеводства и повышения продуктивности кур-несушек родительского и продуктивного стада [63, 196, 197].

Многочисленными исследованиями установлено, что «…особое внимание должно быть уделено предкладковому периоду молодняка кур, поскольку данный период является «перестройкой» организма «от молодняка к взрослому продуктивному животному», соответственно, любой стрессовый фактор, в первую очередь, повлечет снижение продуктивности» [6, 9, 14, 15, 16].

В отечественном и зарубежном промышленном птицеводстве для получения продуктов питания (яйца, мясо) используют кур, индеек, уток, гусей, цесарок и в меньшей степени перепелов, мускусных уток, фазанов, страусов, мясных голубей и куропаток. На основе анализа селекционного процесса в племенном и товарном птицеводстве ученные установили, что «… селекция птицы отдельных видов, разного направления продуктивности (яичного, мясного, мясояичного) внутри вида, а также отдельных линий внутри породы имеет свою специфику. При этом у всех видов можно выделить ряд следующих общих селекционных признаков, которые под действием искусственного отбора претерпели значительные изменения: яйценоскость, масса яиц, живая масса, половая зрелость, оплодотворенность и выводимость яиц, вывод суточного молодняка, жизнеспособность, оплата корма продукцией [110].

Благодаря возможности использования искусственного отбора, селекционерам удалось создать высокопродуктивные породы, линии и кроссы птицы. Следует отметить, что существенные изменения в морфологии и физиологии отмечены у кур яичных и мясных пород.

Для селекционеров и специалистов птицеводческих предприятий по разведению кур немаловажное значение имеют и специфические признаки, по которым ведут оценку и отбор птицы. У яичных кур такими признаками являются масса одного яйца, общая масса яиц за продуктивный период, окраска скорлупы, качество яиц, экстерьерные признаки, качество спермопродукции у петухов; у мясных кур – интенсивность роста молодняка, мясные формы телосложения, качество мяса, быстрота оперяемости, экстерьерные признаки [110].

В условиях интенсивного развития птицеводства и биотехнологии селекционеры все больше внимания уделяют морфологическим (форма гребня, окраска и форма оперения, цвет кожи), физиолого-биохимическим (белковые метаболиты крови, активность ферментов и гормонов, размер мышечных волокон) и признакам, связанным с продуктивностью и жизнеспособностью (экстерьерные особенности и телосложение, полиморфизм белков крови и яиц, группы крови, иммунологические свойства) птицы [110].

Современная генетика сельскохозяйственной птицы направлена на изучение хозяйственно полезных признаков пород, линий и кроссов, отражающих в целом генофонд промышленного птицеводства.

При проектировании и определении технических параметров технологического оборудования для птицеводческих предприятий специалисты руководствуются биологическими особенностями сельскохозяйственной птицы, а именно их экстерьерными особенностями и параметрами телосложения. Под экстерьером понимают внешние формы и признаки птицы. «Изучение экстерьера дает воз-

можность по характеру сложения птицы и изменению внешних признаков определить ее хозяйственно-полезные качества и пригодность к использованию в условиях промышленной технологии» отмечают в своих исследованиях» [25, 93, 112, 113].

Анализируя отечественный и мировой генофонд сельскохозяйственной птицы и племенные ресурсы в птицеводстве Макарова А. В. (2019), Николаев С. И. и др. (2023), Рехлецкая Е. К. и др. (2021), Буяров В. С. И др. (2019) отмечают, что: «… в процессе селекции создано большое количество пород, породных групп и линий птицы с характерными особенностями экстерьера и конституции, связанных с продуктивностью птицы. Однако, несмотря на множество различий по статям тела, есть и много общего. Отдельные признаки экстерьера значительно изменяются в зависимости от физиологического состояния организма птицы, ее возраста, способа содержания и других факторов. Большой изменчивости подвержены гребень, сережки, состояние живота и расстояние между лонными костями у несушек, состояние пера и его рост. Относительно постоянными признаками у взрослой птицы являются скелет и форма тела, окраска оперения, радужной оболочки глаз и др. [119, 139, 141, 153, 163].

Анализируя пути улучшения биологического потенциала сельскохозяйственной птицы Батанов С.Д. и др. (2024), Николаев С.И. и др. (2023), Рехлецкая Е.К. и др. (2021), Буяров В. С. И др. (2019), Фисинин В.И. (2004) отмечают, что: «Улучшение генетического потенциала птицы путем селекции и генетической манипуляции, прогнозирование ранней продуктивности, комплексное изучение качественных характеристик яиц позволит получать более продуктивных, устойчивых к болезням и адаптированных к специфическим условиям разведения птицы» [139, 140, 141, 153, 164, 195].

На основании оценки экстерьера можно выделить из стада наиболее ценных особей, разделить птицу на классы, различающиеся по уровню продуктивности. Результаты оценки экстерьера не позволяют в полном объёме определить продуктивность птицы, но по ее внешним признакам, имея практический навык, можно довольно точно установить, несется птица или нет, хорошо ли выражены мясные формы тела или слабо, установить возраст, линьку птицы и на основании этого отобрать лучших особей для дальнейшего использования [112, 184, 191, 192, 208].

Экстерьер птицы связан с яйценоскостью, мясными качествами и другими хозяйственно-полезными признаками, правильная оценка птицы дает возможность сформировать высокопродуктивное стадо. Оценкой по экстерьеру пользуются в племенной работе. По экстерьеру можно определить пол, возраст, но экстерьерные признаки зависят от физиологического состояния и условий внешней среды. Например, в период яйцекладки расстояние между лонными костями, между килем и лонными костями увеличивается, а при прекращении уменьшается. Большая длина киля характеризует плохую яйценоскость, но является важным показателем мясной продуктивности.

Изучая экстерьер птицы необходимо оценивать отдельные части тела, называемые статями: гребень, глаза, шея и т.д. Характеристика основных статей тела птицы и возможных пороков приведена в таблице 1 [111].

Мышцы плотные, кожа плотная и эластичная, оперение плотное и блестящее. Курам мясных пород (кроссов) свойственно глубокое, широкое туловище, массивная голова, маленький гребень, короткая толстая шея, выпуклая широкая грудь, относительно короткая широкая спина, плюсна, короткий хвост. Мышцы хорошо развиты. Оперение пышное и рыхлое. Куры мясояичных пород (кроссов) сочетают признаки яичных и мясных кур.

Таблица 1 - Характеристика основных статей и пороков тела кур

Стати тела	Характерное выражение признака	Недостатки признаков
Клюв	Средней длины, слегка загнутый книзу	Клюв большой или тонкий, длинный, клещеобразный
Голова	Средней длины, легкая широкая (яичные), короткая, массивная (мясные), глубокая, недлинная.	Очень массивная, грубая или узкая, длинная «воронья», тяжелая «петушиная»
Гребень	***Куры и петухи яичные:*** гребень и сережки у хорошей курицы-несушки ярко-красные, мягкие и теплые на ощупь. Кожа гребня ровная, чистая, без шелушащегося слоя, характерна для хорошо развитых молодок или взрослых кур, начинающих кладку после линьки. У давно и хорошо несущейся курицы на коже гребня заметны отдельные участки слущивающегося эпителия, кожа неровная, но без признаков сморщивания. У петухов прямостоячий, у кур может свешиваться на бок, но не должен полностью закрывать глаз ***Куры и петухи мясные:*** средний, ярко-красный, эластичный, у петухов прямостоячий, листовидный, розовидный, стручковидный, ореховидный	Переразвитый, очень маленький, свешивающийся набок у петухов. Грубый, неэластичный, бледной окраски, синий, у кур «петушиный» У ненесущейся курицы весь или почти весь гребень тускло-красного цвета, сморщен, жесткий на ощупь.
Шея	Тонкая, средней длины с обильным длинным оперением (яичные), короткая, с коротким оперением (мясные). У петухов остроконечные перья называются гривой	Очень длинная или короткая, толстая или тонкая
Грудь	Хорошо развита у кур мясных пород. У яичных кур грудь имеет среднее развитие.	Плохо развита, узкая
Спина	Широкая, длинная, прямая	Горбатая, вогнутая, узкая, короткая,
Туловище	Приподнятое впереди, широкое. Грудь слегка выступает вперед. Длинное туловище характерно для птицы с большой живой массой	Короткое, узкое, плохо развита мускулатура, узкая грудь, покатая вперед или назад спина, длинноногость
Живот	У несушек в период яйцекладки большой, мягкий, лонные кости раздвинуты, большое расстояние между задним концом киля грудной кости и лонными костями	Малый, жесткий, при прощупывании плотный, небольшой по объему, расстояние между лонными костями небольшое.
Киль	Длинный, прямой, ровный. У яичных кур несколько короче.	Короткий, изогнутый
Отростки лонных костей	Широко расставлены, концы их эластичны, легко поддаются при нажиме	Жесткие, концы их сближены, могут быть загнутыми внутрь

Окончание таблицы 1

Стати тела	Характерное выражение признака	Недостатки признаков
Ноги (плюсны)	Более длинные и тонкие у птицы яичных пород. У мясных кур короткие и толстые, широко поставленные. Плюсна желтого, черного, серого, телесного и другого цвета. У петухов на внутренней стороне каждой плюсны имеется шпора	Очень длинные и тонкие или короткие и толстые, искривленные ноги и пальцы. Наличие шпор у самок. Намины на ногах, косолапость
Оперение	***Куры яичные:*** оперение плотное. Лучше развито хвостовое оперение	Не типичная для породы окраска оперения. Состояние оперения не соответствует виду, направлению продуктивности и возрасту птицы
	Куры мясные: оперение рыхлое, небольшое количество пуха. У кур разных пород и направления продуктивности окраска оперения различная. Более распространена белая, коричневая, красная, черная, желтая и полосатая. У петухов на хвосте расположены косицы, а на пояснице - ланцетовидные перья	

Отдельные породы, линии и популяции их имеют более выраженные признаки мясных или яичных кур. При этом мясояичных кур в большей степени характерно длинное, широкое и глубокое туловище. Голова широкая, глубокая и недлинная, гребень небольшой (листовидной или розовидной формы), шея довольно толстая, средней длины, грудь широкая, выпуклая, спина длинная, ровная и широкая, живот объемистый, плюсны довольно толстые. Мышцы хорошо развиты. Хвост короткий, прямой. Оперение плотное или рыхлое в зависимости от породы [173].

Таким образом, особое место среди биолого-хозяйственных признаков птицы занимает скорость роста, от которой зависит живая масса и возраст молодняка, в комплексе влияющие на начало продуктивного периода сельскохозяйственной птицы, а основным приемом повышения уровня реализации биологического потенциала является направленное выращивание ремонтных молодняка. Основной целью направленного выращивания является получение однородного стада кур с хорошими адаптивными способностями, пропорционально развитыми экстерьерно-функциональными особенностями, высокой яйценоскостью и

приспособленных к длительному биологически обусловленному продуктивному периоду.

1.1.2 Яичная продуктивность и качественные параметры пищевых и инкубационных яиц

Перспективной отраслью агропромышленного комплекса в Российской Федерации является птицеводство. При этом в яичном и мясном птицеводстве России идет масштабное освоение новых ресурсосберегающих технологий выращивания и содержания птицы, организационных принципов и программ нормированного кормления, высокопродуктивных кроссов, биологической защиты птицеводческих предприятий [75, 76, 81].

Основной задачей яичного птицеводства является повышение продуктивности птицы и качества ее продукции для более полного удовлетворения потребностей населения в высококачественных продуктах питания [132, 181]. Пищевое яйцо относится к высокоценным диетическим продуктам питания, так как в его состав входят необходимые для организма человека питательные вещества: полноценные белки, содержащие незаменимые аминокислоты в оптимальном соотношении, что обуславливает усвояемость на уровне 96–98 %; липиды, богатые фосфором (лецитин), витамины и т. д. [132].

В условиях промышленного птицеводства наиболее важным показателем эффективности работы птицефабрики является количество производимых яиц. Однако при ориентации производства на количественные показатели забота о пищевой и биологической ценности яиц отступает на второй план, что закономерно приводит к ухудшению их качества [22].

Изменения качества яйца, наблюдаемые в ходе репродуктивного периода у высокопродуктивных яичных кроссов и особенно в интенсивно развивающемся промышленном птицеводстве, свидетельствуют о возможности регулирования

качества яиц без нарушения свойственных им высоких питательных достоинств, таких, как масса и форма яйца, масса желтка, белка, скорлупы и т. д. При этом проблема сохранения и регулирования полноценности яиц кур и повышения их качества приобретает все большее значение. Теоретической основой в решении данной проблемы является изучение закономерностей изменений качества яиц в ходе яйцекладки и выявление взаимосвязей между морфологическими и физико-химическими показателями яиц [50, 92, 193].

Яйценоскость – сложное явление, обусловленное физиологической деятельностью всего организма. Яичная продуктивность является главным хозяйственно-полезным показателем качества сельскохозяйственной птицы и ее генетических особенностей, а для птицы яичного направления продуктивности – это основной показатель. Для сельскохозяйственной птицы мясных пород, яйценоскость определяет их плодовитость и тем самым влияет на количество мяса, получаемого от потомства каждой курицы-несушки. По уровню яйценоскости в зрелом возрасте первое место занимают куры яичных пород, затем, перепела, куры мясояичных пород, цесарки, утки, индейки, гуси и голуби.

В условиях промышленного птицеводства наиболее важным показателем эффективности работы птицефабрики является количество производимых яиц, обладающих высоким уровнем качественных параметров. Опираясь на результаты своих исследований диетологи и специалисты в области физиологии питания человека отмечают (по данным журнала Meat end Poult) что, наряду с коричневым рисом, молоком, шпинатом, бананом, лососиной и черникой, куриные яйца относятся к 7 наиболее полезным продуктам питания. У кур-несушек в процессе метаболизма и биосинтеза многие питательные и биологически активные вещества корма и добавок переходят в яйца и мясо, а при их употреблении – в организм человека. При этом следует отметить, что куриное яйцо удовлетворяет

суточную потребность взрослого человека в белке на 10 %, в жире на 7%, в фосфолипидах (лецитине) более чем на 50%, витаминах на 5–100%, йоде на 15–20%, цинке и меди на 8–10%, селене до 50 % [31, 132, 156, 181, 193].

Одной из основных задач яичного птицеводства является повышение продуктивности птицы и качества ее продукции для более полного удовлетворения потребностей населения в высококачественных продуктах питания [22]. Пищевое яйцо относится к высокоценным диетическим продуктам питания, так как в его состав входят необходимые для организма человека питательные вещества: полноценные белки, содержащие незаменимые аминокислоты в оптимальном соотношении, что обуславливает усвояемость на уровне 96–98 %; липиды, богатые фосфором (лецитин), витамины и т. д. [132]. Однако при ориентации производства на количественные показатели забота о пищевой и биологической ценности яиц отступает на второй план, что закономерно приводит к ухудшению их качества [174].

Анализируя пути повышения продуктивных и репродуктивных качеств сельскохозяйственной птицы, Щербинина М.А. (2019), Щербатов В.И и др. (2007), Тао Y. И др. (2000) опираясь на результаты своих исследований отмечают, что «Повышение продуктивности кур, пищевых и инкубационных качеств яиц на современном этапе решается на основе интенсификации технологий и селекционных процессов в птицеводческой отрасли, в том числе и за счет создания новых высокопродуктивных кроссов, обладающих высокими репродуктивными качествами и приспособленных к использованию в условиях промышленной технологии. Изучая влияние гормональной составляющей на продуктивные качества птицы, отмечают, что яйценоскость птиц является результатом сложного процесса, который регулируется гипоталамо-гипофизарно-гонадной системой» [219, 313].

В работах Николаева С.И. и др. (2023), Роженцова А. Л. и др. (2020), Щербатова В. И. (2007; 2023) отмечено, что «…интенсивная селекция яичных кур на получение высокой яичной массы за продуктивный период происходит за счет повышения яйценоскости птицы и увеличения массы снесенных яиц. В тоже время высокая яйценоскость кур современных кроссов при снесении ими большого числа яиц и многолетнее применение стабилизирующего отбора по этим признакам привели к изменению параметров внешних характеристик и содержимого яиц» [139, 166, 216].

По результатам своих исследований ряд ученых: Romanyk H.M. (2020), Джагаев А. Ю. (2022), Щербинина М.А. (2019) установили, что «Селекция сыграла ведущую роль в формировании высокого генетического потенциала продуктивности и его реализации. У большинства яичных кроссов кур яйценоскость достигла 330-350 шт. яиц. При этом длительная селекция по продуктивным признакам привела к уменьшению генетического разнообразия и снижению эффекта селекции» [64, 219, 305].

В исследованиях Bain M. M. (2016) выявлено, что: «Современные кроссы яичных кур достигли высоких показателей яйценоскости. Интенсивный отбор по яйценоскости на протяжении десятилетий приблизил пиковую продуктивность к биологическому пределу – одно яйцо в день, однако привел к значительному сокращению генетических и фенотипических вариаций. В то же время на ранних стадиях (темп нарастания яйцекладки и пик) и на поздних стадиях производства (темп снижения яйцекладки) генетическая изменчивость все еще остается высокой. Включение этих признаков в критерии отбора улучшит яйценоскость коммерческих птиц» [236].

Chen, C. F., Остапенко, В. І. (2022, 2023) изучая элементы отбора параметров продуктивности пришли к выводу, что: «…одним из путей дальнейшего по-

вышения яичной продуктивности может быть отбор по компонентам кривой яйцекладки (темп наращивания яйценоскости, уровень пика и норма спада яйценоскости), поскольку рядом исследователей установлены высокие корреляционные связи некоторых из этих показателей с яйценоскостью за год. Положительная корреляция между высотой пика и темпом снижения яйценоскости (0,427). Важным аргументом в пользу использования селекции по отдельным элементам яйценоскости, таких как возраст достижения пика, его высота и темп снижения яйценоскости, является также достаточно высокая их наследуемость, особенно по материнской линии» [48, 152, 244].

Многочисленными исследованиями отечественных и зарубежных ученных, а также специалистами птицеводческих предприятий установлено, что: «Комплексное изучение качества яиц является одним из основных путей повышения продуктивности и эффективности отрасли птицеводства. Изучение параметров качества яйца и их изменения, наблюдаемые в ходе репродуктивного периода, свидетельствуют о возможности регулирования этих показателей без нарушения свойственных им высоких питательных достоинств. Пищевая ценность оценивается по массе и форма яйца, массе желтка, белка, и скорлупы, а также соотношению составных частей яйца. Поэтому проблема сохранения и регулирования полноценности яиц кур и повышения их качества приобретает все большее значение. Теоретической основой в решении данной проблемы является изучение закономерностей изменений качества яиц в ходе яйцекладки и выявление взаимосвязей между морфологическими и физико-химическими показателями яиц» [244, 266, 286, 317, 49, 124, 131, 219].

Ученные и специалисты в настоящее время проводят исследования по разработке приемов рационального использования племенных ресурсов и повышения уровня реализации биологического потенциала сельскохозяйственной

птицы. При этом в современном промышленном птицеводстве одной из основных задач является снижение затрат на производство продукции и повышение ее качества [47, 84, 93, 161, 174, 192].

Продление сроков использования несушек представляется наиболее логичным подходом к более эффективному использованию ресурсов в яичном птицеводстве, так как позволяет снизить затраты на выращивание ремонтного молодняка, отлов и перевозку птицы, очистку и дезинфекцию птичников, увеличить выход яиц «отборная» и «высшая» категории, сократить мощности поголовье родительского стада, уровень загрязнения окружающей среды, связанные с необходимостью более частой замены кур промышленного стада [25, 53, 93, 192].

Селекционная работа по увеличению срока эксплуатации птицы идет в двух направлениях:

- сокращение возраста половой зрелости молодняка;

- увеличение возраста продуктивного использования кур. До недавнего времени отечественное и мировое птицеводство было ориентировано на одногодичный (биологический) цикл использование кур промышленного стада. Однако анализ работы промышленных птицеводческих предприятий страны последних лет показывает, что куры современных яичных кроссов являются скороспелыми, сохраняют резервы для их успешной эксплуатации в течение гораздо большего времени [13, 84, 93, 112, 142, 216, 237].

На основе анализа результатов своих исследований Нефедова С.А. (2019) установили, что «…внедрения в птицеводство методов, позволяющих увеличить сроки использования кур-несушек, предлагается технология их кормления с ранним применением предкладкового рациона и форсированием линьки. Оптимальным режимом эксплуатации кур-несушек при форсировании линьки молодняка является 62-64-недельный возраст при 60%-й интенсивности яйцекладки с учетом 14-недельного возраста молодняка для перевода в основное стадо. Яичная

продуктивность несушки при этом в начале цикла яйцекладки существенно увеличивается, а выбраковка составляет 16%. Сроки эксплуатации кур-несушек с применением принудительной линьки увеличивается на 32 недели [189].

Таким образом, в современном птицеводстве разведение сельскохозяйственной птицы рассматривается с нескольких точек зрения: экономической, инвестиционной, финансовой, зоотехнической, социальной, хозяйственной, ветеринарной и др. Однако тенденция устойчивого развития общества, повышение спроса на продукции птицеводства предполагает приоритетным рассмотрение вопросов благополучия кур-несушек и увеличения биологической эффективности их использования.

1.2. Особенности кормления и содержания ремонтного молодняка и кур несушек

Производство продукции в промышленном яичном птицеводстве включает в себе инкубацию яиц, кормление и содержание ремонтного молодняка, кормление и содержание кур родительского стада и кур-несушек промышленного стада. В технологическом процессе производства куриных яиц важным звеном является направленное выращивание ремонтного молодняка. Направленное выращивание ремонтного молодняка в производственных условиях подразумевает введение молодняка в яйцекладку в оптимальном для данного кросса (генетической группы) возраста, с высокой однородностью стада, без отклонения от нормативной динамики роста и развития в течение всего периода выращивания, с целью достижения в будущем высокой, генетически обусловленной продуктивности и максимального уровня реализации биологического потенциала [78, 97, 137**].**

Период выращивания имеет важное значение для стада. Продуктивность стада в большей степени зависит от набора живой массы в раннем возрасте.
В настоящее время ремонтный молодняк выращивают по различным технологическим схемам, в основном, в клеточных батареях, редко на полу. Для нормального роста и развития молодняка всех линий, прародительских, родительских форм и гибридов должны быть созданы необходимые условия. При этом основная цель в период выращивания молодняка заключается в создании родительского (промышленного) стада здоровых и с высоким уровнем резистентности кур-несушек, которые обеспечат высокий уровень количественных и качественных параметров яичной продуктивности. Основными критериями результативности процесса выращивания молодняка в промышленном птицеводстве являются:

- интенсивный рост и развитие для достижения максимальной живой массы в возрасте 5 недель;

- высокая однородность стада в течении всего периода выращивания;

- сохранность на уровне 93-95%. Высокие требования конечным результатам получения молодняка обусловлены тем, что условия выращивания на 60-70% определяют эффективность стада в продуктивном периоде и уровень развития иммунной системы. Задержка в росте в этот период отрицательно влияет на формирование живой массы в возрасте 16 недель, и, как следствие, на последующие продуктивные и репродуктивные качества птицы [83, 105, 113, 160, 163, 171, 184**].**

В единую цепь производственного процесса в яичном птицеводстве после завершения выращивания ремонтного молодняка и ввод его в основное стадо включается технологический процесс по обеспечению оптимальных условий кормления и содержания кур-несушек. Основной целью является обеспечение максимального развития племенной (продуктивной) птицы и достижения высо-

ких показателей продуктивности. В этот период специалисты производства и разработчики инновационных технологий обеспечивают решение следующих задач в период выращивания:

- достижение нормативной живой массы при 5% продуктивности;

- создание условий для закрепления желательного кормовое поведение;

- развитие пищеварительного тракта (зоб, желудок);

- получение стада с высокой однородностью развития телосложения птицы (минимум 80%).

Получение обозначенных параметров возможно при выполнении следующих условий (разработаны для каждого кросса и генетической группы):

- оптимальная плотность посадки и условия содержания;

- программа освещения в соответствии с продуктивным периодом и адаптированная к условиям выращивания;

- обрезка клюва (дебикирование), если это необходимо;

- оптимальная программа технологии кормления;

- контроль развития птицы. [160, 184, 194].

В условиях современных промышленных птицеводческих предприятий организовано интенсивное использование кур-несушек до 95 недельного возраста. Первые пять недель выращивания крайне важны для дальнейшего успеха в продуктивный период. В хорошо подготовленном стаде отмечается выше сохранность и меньше отбракованной птицы. В течении пяти недель интенсивно развиваются важнейшие органы, такие как сердце, легкие, почки и т.д. [78, 79, 93, 97, 115, 137, 171, 174, 194].

Птица по своей природе предпочитает поедание цельного зерна. Мелкие крупицы неудобны для поедания и, следовательно, птице требуется больше энергии для потребления того же самого количества. Накопление мелкой фракции в системе кормления приводит к тому, что птица недоедает. Поэтому очень важно,

чтобы кормушки опустошались ежедневно. Это правило распространяется одинаково и на молодняк, и на взрослую птицу.

Организация полноценного кормления и выбор оптимальной техники скармливания кормов молодняку в период выращивание оказывает существенное влияет на потребление корма и усвоение питательных веществ в продуктивном периоде. Это способствует лучшему развитию пищеварительного тракта на фазе выращивания, увеличению поедаемости корма у птицы. Особенно это важно после перевода, когда потребление корма должно значительно вырасти впервые недели. Программа кормления, структура и состав рационы, его питательная и биологическая ценность в период выращивания могут быть скорректированы в зависимости от реального развития костяка и живой массы кур-молодок. [4, 25, 65, 97, 113].

С целью обеспечения рационального использования кормовых ресурсов, биологического потенциала продуктивной птицы и обеспечение максимального уровня реализации генетических возможностей молодняка, а также повышения эффективности производства на птицеводческих предприятиях разрабатываются рецептуры кормов и определяются нормы кормления с учетом физиологического состояния и интенсивности обменных процессов в организме в период выращивания молодняка и использования кур-несушек. Начиная с суточного возраста и до 4 недель жизни, в программе кормления молодняка используется «Стартовый» рацион. Он обеспечивает адаптацию организма к усвоению кормов. С 4 недель и до 10 недель (может быть продлен до 11-12 недель жизни) рекомендуется для использования «Ростовой» рацион, который обеспечивает поддержания интенсивного роста и развитие пищеварительного тракта. «Ростовой» рацион имеет высокую питательность и не рекомендуется использовать его в кормлении птицы старше 12 недельного возраста: существует риск замедления развития пищевари-

тельного тракта и снижения потребления корма в последующие возрастные периоды, а именно в начале яйцекладки. Использование рациона «Развития» до 16-недельного возраста способствует развитию объема зоба, благодаря тому, что уровень его питательности значительно ниже, чем «Ростовой» и в определенной степени ниже, чем у рационов «Предкладковый» и «Кладковый». Для формирования трубчатых костей, являющихся источником доступного кальция при формировании скорлупы яйца в период интенсивной яйцекладки, рекомендуется использовать «Предкладковый» рацион, начиная за 2 недели до достижения 2% яичной продуктивности у молодых кур. Техника скармливания кормов в период с 5 недельного возраста до 16 недель предназначен для:

- исключения накопления мелкой фракции в кормушке;

- стимуляции развития зоба путем быстрого поедания кормов. Изложенные рекомендации по организации рационального кормления молодняка и продуктивной птицы разработаны на основании результатов исследований отечественных и зарубежных ученных [78, 87, 97, 112, 115, 117, 184, 203, 216, 307].

Стартовый период в технологии выращивания молодняка является основополагающим в развитии организма и формирования продуктивности кур- несушек как родительского, так и продуктивного стада. Исследованиями ученных и специалистов установлено, что: «…показатель живой массы у молодняка в 5-недельном возрасте имеет высокодостоверную взаимосвязь с последующей продуктивностью кур-несушек, устойчивостью яйцекладки, сохранностью поголовья (коэффициент корреляции 0,94; 0,82; 0,71 соответственно). Чем выше живая масса кур-молодок в 5-недельном возрасте, тем выше продуктивность и резистентность, устойчивость к условиям промышленной технологии производства яйца. В первые 5 недель происходит интенсивное развитие внутренних органов цыпленка: кишечного тракта, сердца, печени, почек, формирование репродуктив-

ных органов, гормональной системы, которые в последующем определяют продуктивность. При выращивании ремонтного молодняка кур самый критический период с точки зрения сохранности – первый месяц, особенно первые 4–6 дней, поскольку в этот период наблюдается наибольший отход птицы» [55, 196, 268].

Кормление сельскохозяйственной птицы – одна из самых значительных статей расходов (45-55% в структуре себестоимости продукции) для птицеводческих предприятий. Следовательно, оптимизация кормления птицы в разные возрастные периоды является особенно актуальным и имеет экономическое значение. Разработка программы рационального кормления и составление рационов требует глубоких знаний в области физиологии и морфологии птицы, составе, питательной, биологической ценности и свойствах ингредиентов, используемых для приготовления кормовых рационов. При этом необходимо учитывать условия содержания птицы и направления их продуктивности, возраст и потребность в питательных и минеральных веществах, а также физиологические периоды. С целью достижения наибольшей продуктивности при производстве комбикормов применяются кормовые добавки, которые способны увеличить яйценоскость, улучшить качество яиц и ускорить приросты живой массы. Пищеварительная система сельскохозяйственных птиц позволяет принимать в пищу почти любой тип корма. Состоит их желудочно-кишечный трак из нескольких отделов: пищевод, зоб, мышечный желудок (преджелудок), ферментативный желудок (основной желудок), тонкий отдел кишечника, толстый кишечник и клоака. Обмен веществ у кур характеризуется высокой интенсивностью, что связано с их быстрым ростом, активным метаболизмом и высокой продуктивностью, особенно у несушек. У кур имеются особенности в метаболизме белков, жиров и углеводов. Белковый обмен требует высокого уровня незаменимых аминокислот для роста и и формирования яичной продуктивности. Жировой обмен у кур включает синтез и депо-

нирование липидов, а также мобилизацию жира в периоды высокой энергетической потребности, например, при несении яиц. Углеводный обмен включает гликолиз и глюкогенез, обеспечивая энергией все клетки организма. Важной особенностью также является обмен кальция и фосфора, необходимых для формирования яичной скорлупы. Высокая метаболическая активность кур требует постоянного поступления витаминов и минералов, которые играют ключевую роль в биохимических процессах и поддержании здоровья птиц (И.Д. Егоров, 2002; F. G. P. Costa, J. S. Costa, C. C. Goularte, 2009; Y. Ding, X. Bu, N. Zhang, 2016).

В кормлении сельскохозяйственной птицы используется два основных типа: влажное и сухое. Сухой тип кормления подразумевает использование сухих кормов, таких как комбикорма, зерновые смеси и гранулы. Основным преимуществом сухого корма является возможность максимального контроля рациона кур, что позволяет обеспечить сбалансированное питание. Однако такой тип кормления может требовать дополнительного обеспечения доступа к воде, чтобы избежать обезвоживания. При влажном типе кормления используются влагосодержащие кормовые ресурсы, либо вода добавляется в заготовленный сухой корм, для создания кормовой массы с разной степенью влажности. Влажный корм легко усваивается и может повысить потребление жидкости, что особенно важно в жаркую погоду. Этот тип кормления может использоваться для птицы, нуждающейся в дополнительных питательных веществах, реабилитации или при её содержании в жарком климате. Тем не менее, влажные корма требуют более внимательного подхода к хранению, поскольку они могут быстро портиться и приводить к заболеваниям (HK Dei, GZ Bumbie, 2011; N Dorji, B.Rai, J. B. Gaylal, 2023(O.S. Akinola, A.O. Onakomaiya, J.A Agunbiade, et al., 2015; А.Г. Менякина, Л.Н. Гамко, А.И. Строченова, 2022).

Следует отметить, что организация кормления молодняка и кур также имеет свои особенности в зависимости от системы и способов содержания. При

выгульном содержании птица имеет возможность самостоятельно искать пищу, что позволяет им получать разнообразные корма, включая траву, насекомых и семена. В этом случае важно дополнительно обеспечить полноценный рацион с использованием полнорационных комбикормов, чтобы восполнить недостаток витаминов и минеральных веществ. При клеточном и напольном содержании кормление организовано более рационально, и птица получает сбалансированный комбикорм, с учетом возраста, физиологического состояния и уровня продуктивности (LM Stadig, TB Rodenburg, B Reubens, et al.,2016; Т. М. Околелова, С. В. Енгашев, С. М. Салгереев, 2017; S Chen, H Xiang, X Zhu, et al., 2018; Е. Э. Епимахова, Е. Н. Негро, 2021).

Одним из основных условий низкого уровня затрат и экологически безопасного производства продукции птицеводства является состояние пищеварительного тракта птиц, которая обусловлена микрофлорой кишечника. Здоровый кишечник является наиболее важным условием для трансформирования питательных веществ корма в продукцию (Гамко Л.Н., Менякина А.Г., Карпухин В.А., 2020; Капитонова Е. А., Арефьев П.В., Мищенко Л.П., 2021; Korsakov K.V., Va-siliev A.A., Moskalenko S.P., 2019).

Результатами исследований в области биологии пищеварения является изучение микробиома сельскохозяйственной птицы которые показали, что: «Интенсивная технология выращивания (вакцинация, кормление, химиотерапия) изменила структуру микробиоты желудочно-кишечного тракта птицы. Исследования эффективности разнообразных кормовых добавок показывают, что они нормализуют микроценоз желудочно-кишечного тракта. Для снижения уровня кормового стресса, ускорения интенсивности роста, развития, повышения продуктивности и качества получаемой продукции [12, 13, 14] проводят коррекцию кормления ремонтного молодняка и кур путем применения различных кормовых добавок,

позволяющих сбалансировать кормовые рационы по всем питательным веществам, повысить их переваримость, усвояемость и качество яйца, в том числе введение в рацион кур-несушек кормовых добавок «Биоэлемент Актив» и «Бацелл» отдельно и в сочетании позволило не только продлить период яйценоскости, но и повысить интенсивность яйцекладки на 2,57–4,84% при значительной степени сохранности птицы» [204, 206, 210, 219].

Со второй половины 20 века и по настоящее время в мировом и отечественном птицеводстве учеными и практиками проводятся исследования по анализу существующих технологий и разработки новых решений с учетом биологических особенностей сельскохозяйственной птицы. На основе результатов своих исследований Фисинин В.И., Егорова Е.А. и др. установили, что: «Важнейшим элементом интенсивной технологии производства яиц птицы является организация полноценного и сбалансированного кормления. Полноценное кормление птицы – основа наиболее полного проявления генетического потенциала продуктивности, эффективного использования питательных веществ рациона, высокой естественной резистентности организма и качества продукции. Современная система нормирования рационов кормления птицы предусматривает оценку питательности кормов по комплексу показателей: обменной энергии, сырому протеину, аминокислотам, макро- и микроэлементам, витаминам. Нормирование питательных веществ осуществляется на 100 г сухой кормовой смеси, а фактическое поступление в организм птицы питательных веществ регулируется суточным потреблением корма. При нормировании кормления птицы на 100 г корма особое значение приобретает качество используемых комбикормов, их сбалансированность по всем элементам питания. В птицеводстве очень важен минимальный расход корма на единицу продукции, а для этого необходимо, чтобы организмом птицы максимально переваривались и использовались питательные вещества рационов.

В настоящее время для повышения продуктивности и сохранности птицы предлагается большое количество биологически активных добавок (пробиотиков, пребиотиков, синбиотиков, фитобиотиков, антиоксидантов и др.) [6, 12, 23, 51, 59, 74, 170].

Промышленная технология производства продукции птицеводства базируется на следующих принципах:

- использование высокопродуктивной гибридной птицы;

- содержание кур в клеточных батареях при механизации и автоматизации производственных процессов и высокой производительности труда;

- кормление кур полноценными сухими комбикормами;

- содержание птицы в безоконных птичниках большой вместимости с автоматизированной системой обеспечения оптимального микроклимата;

- применение эффективных мер ветеринарной профилактики заболеваний птицы;

- равномерное круглогодовое производство в соответствии с технологической схемой.

Большинство крупных птицеводческих предприятий работают в соответствии с разработанными технологическим графиком и технологической схемой.

Согласно технологическому графику, ремонтный молодняк (или инкубационное яйцо) поступает с племенных заводов или из хозяйств репродукторов, занимающихся получением и инкубацией яиц.

Обеспечивается доращивание ремонтного молодняка до 140-дневного возраста, затем переводят в категорию «взрослая птица». По окончании продуктивного периода птицу сдают на убой.

Оптимальной технологической схемой производства яиц предусмотрено перевод ремонтного молодняка в помещение для кур-несушек в возрасте от 62 до 120 дней. В раннем, 62-дневном возрасте птица лучше переносит зоотехнические

и ветеринарные мероприятия, в том числе и активную иммунизацию. Перевод ремонтного молодняка в цех промышленных несушек в возрасте 140 дней нежелательно, так как это совпадает с периодом полового созревания и часть птицы уже несутся. Перевод может вызвать стресс и при этом нарушается репродуктивная функция организма. Оптимальный возраст перевода 120 дней. Ремонтный молодняк высокопродуктивных и скороспелых кроссов переводят в промышленное стадо в возрасте 105-10 дней [24].

Проведя ряд исследований по сравнительной характеристике оборудования, используемого в птицеводческих предприятиях Заводов В. и др. (2008), Логвинов О.Л. (2022) отмечают: «Одним из основных факторов, обеспечивающих эффективное производство яиц является использование современного оборудования для клеточного и напольного содержания кур. Это комплексные и специализированные системы кормления, поения, вентиляции, автоматизации и освещения. Использование инновационной системы кормораздачи привело к увеличению выхода инкубационных яиц на 4,6%, а экономический эффект от 1000 голов составил 43201,5 руб.» [82, 117].

В системе технологического обеспечения производственных процессов в птицеводстве особое внимание на ровне с кормлением отводится освещению в помещениях для содержания птицы, ее интенсивности и режиму.

Большое значение для цыплят имеют продолжительность светового дня освещенность. В промышленном птицеводстве применятся как постоянное, так и прерывистое освещение. Режимы прерывистого освещения при выращивании ремонтного молодняка предусматривают при первом включении и последнем отключении света в режиме освещения производить имитацию рассвета и заката солнца с продолжительностью по 3 минуты [117].

Анализируя результаты своих исследований и разрабатывая световые режимы содержания молодняка и кур-несушек, отечественные и зарубежные ученные отмечают, что: «С помощью растянутой программы снижения продолжительности светового или «субъективного» дня можно отсрочить половое созревание кур, повысить живую массу птицы и, следовательно, массу яиц. Варианты создания световых режимов для выращивания ремонтного молодняка и цыплят-бройлеров, основанных на закономерностях проявления циркадианных ритмов локомоторной активности цыплят. Целесообразно использование световых режимов для птицы, учитывающих ежесуточный сдвиг фазы локомоторной активности на 45 мин, с учетом периода биологических суток, равного 23,25 ч., что способствует повышению среднесуточных приростов и живой массы цыплят на 5-7%, убойного выхода тушек бройлеров на 0,8-1,2%, по сравнению с традиционными стабильными и прерывистыми режимами освещения. Световой режим, состав корма и его количество – все это влияет на рост и развитие цыплят. На старте выращивания ремонтного молодняка необходимо применение максимальной освещенности, чтобы птица легко находила корм и воду. Затем надо притушить свет – цыплята будут чувствовать себя расслаблено. Это снижает вероятность каннибализма и стимулирует потребление корма» [25, 47, 79, 97, 112, 184, 194, 216, 237, 245, 270].

При эксплуатации кур-несушек промышленного стада до 80-недельного возраста световую стимуляцию целесообразно начинать с 15-недельном возрасте при живой массе и однородности стада (при отклонении ±10% от средней живой массе). Это позволяет по сравнению с контролем повысить сохранность поголовья на 2,7%, яйценоскость на начальную и среднюю несушку – на 4,5 и 2,7%, выход яичной массы на начальную и среднюю несушку – на 5,5 и 3,7 при снижении затрат корма на 10 яиц и 1 кг яичной массы на 2,9 и 3,9%, соответственно [203].

На птицефабриках при содержании кур-несушек традиционно используют режим постоянного освещения. Опыт многих птицефабрик свидетельствует о том, что применение режима прерывистого освещения позволяет получить существенную экономию электроэнергии при повышении продуктивных показателей.

При использовании режима прерывистого освещения имитация восхода солнца при первом включении света и заката солнца при последнем отключении света с продолжительностью 3 минуты позволяет повысить сохранность поголовья на 1,9%, яйценоскость на начальную и среднюю несушку – на 7,3 и 5,8% при снижении затрат корма на 10 яиц и 1 кг яичной массы – на 6,5 и 5,1% и электроэнергии на освещение в расчете на 1000 яиц – на 2,8%, соответственно [47].

Изобретение В. И. Щербатова (2021) направленное на совершенствование технологических элементов и создание ресурсосберегающего производства представляет собой следующее описание: «Способ содержания яичных кур, включающий содержание птицы в индивидуальных клетках при регулируемом прерывистом режиме освещения, предусматривающем прекращение и подачу освещения на 45 минут относительно времени суток, при этом кур содержат с возраста 120 дней, при этом отбор проводят с 52 недель и последовательно осуществляют прекращение и подачу освещения каждый день в течение 7 суток на 45 минут в сторону вечерних часов и одновременно ведут учет времени снесения яиц и их количества, затем проводят ранжирование, к высокопродуктивным относят кур, которые сносят яйца в более ранний период суток. Изобретение позволяет увеличить период эффективности использования птицы на 1,5-2 месяца и повысить яйценоскость на 5-7%» [154].

Высокая технологическая нагрузка, которую испытывает организм птицы, приводит к снижению естественной резистентности, сохранности поголовья и качественных показателей получаемой продукции птицеводства [76, 192].

Достижение высоких результатов производства продуктов птицеводства возможно при применении новых технологических систем, направленных на создание скороспелой птицы что, сопровождается повышенным нагрузками на организм. При этом, главная зоотехническая задача — это сбалансированное кормление круглосуточно в абсолютно безграничном доступе к поилкам и кормушкам, оптимальный режим освещения и систематический контроль роста, развития и продуктивности птицы [139, 154, 171, 174, 184, 189, 203].

Важным технологическим приемом для анализа динамики развития стада является еженедельный контроль роста (чем больше особей будет взвешиваться, тем более точным будет показатель однородности): чем раньше будут установлены отклонения в развитии птицы, тем раньше можно предпринять меры для исправления ситуации. Запоздалая корректировка живой массы не эффективна для улучшения телосложения и развития костяка птицы. Контроль живой массы необходим для расчета нормы кормления с учетом физиологического состояния, так как потребность птицы в кормах зависит от питательной и биологической ценности кормов, микроклимата в птичнике и состояния здоровья птицы [112, 205].

При анализе параметров развития телосложения птицы на ровне с оценкой средней живой массы необходимо рассчитать однородность стада. Задача состоит в том, чтобы добиться наилучшей однородности для равномерного управления стадом, в особенности при световой стимуляции максимального проявления продуктивного потенциала кур родительского и промышленного стада. Если птица имеет рарное развитие (не однородное стада), то снижается уровень продуктивности и сохранности поголовья [78].

Обеспечение оптимального уровня развития птицы и создание однородного стада возможно при использовании инновационных технических средств, технологических приемов и качественных кормовых ресурсов.

Причины низкой однородности стада при клеточном выращивании ремонтного молодняка и содержании кур-несушек:

- неоднородная раздача корма, например, вследствие очень длинной цепной кормовой линии;

- избыточная плотность посадки. В возрасте 3 недели молодняк необходимо рассаживать птицу по всем ярусам;

- неоднородная структура корма. Мелкая фракция корма скапливается в конце кормовой линии, в то время как крупные частицы – в самом начале;

- неравномерное распределение птицы в разных секциях/батареях по причине, к примеру, повышенного падежа в отдельных клетках.

Факторы, влияющие на однородность:

- плотность посадки (количество кур на 1 $м^2$ площади пола клетки);

- структура кормовой смеси (выборочное поедание);

- длина кормушки и разница в высоте на участках клеточной батарее;

- длина поилки (ниппели) и доступность воды;

- стресс-факторы (заболевания, зоотехнические, ветеринарные мероприятия);

- возраст оценки однородности (половое созревание);

- генетические различия (кросс птицы) [112, 171, 172].

Анализ технологических приёмов в кормлении и содержании ремонтного молодняка и кур-несушек показывают, что для успешного развития промышленного птицеводства и обеспечения дальнейшего значительного роста производства продуктов питания необходимо постоянно совершенствовать организацию и технологию производства на птицеводческих предприятиях. Важнейшая задача предприятий, специализирующихся на производстве продукции птицеводства, состоит в том, чтобы наряду с наращиванием объемов производства добиться

дальнейшего увеличения продуктивности птицы и качества продукции при снижении энергетических, топливных, кормовых, трудовых и других ресурсов [34, 35, 36, 74].

1.3 Анализ цифровых информационных технологий, применяемых в птицеводстве

В условиях значительного роста населения на земном шаре и потребности в продуктах питания особое значение приобретает интенсификация работы сельскохозяйственных предприятий по совершенствованию существующих и разработке новых ресурсосберегающих технологий, направленных на повышение эффективности использования генетического потенциала животных. Это основная задача стратегического развития животноводства, которая определена в приоритетном национальном направлении «Развитие АПК». 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. Значительный вклад в решение этой задачи может внести цифровизация сельского хозяйства, в частности животноводства и птицеводства.

Анализ отечественного и международного опыта показывает, что применение цифровых технологий является одним из важных факторов, обеспечивающих рост производительности труда, ресурсосбережение, устойчивость производства продуктов питания и сельскохозяйственного сырья, снижение потерь продукции в процессе производства, транспортировки, хранения и реализации. С учетом этого цифровая трансформация животноводства и птицеводства позволит получить ранее недоступные данные и необходимую информацию для принятия управленческих решений, повысить эффект селекции, оптимизировать использование биологических и материальных ресурсов, и снизить себестоимость продукции [42, 98].

На примере передовых хозяйств показано, что цифровые технологии, лежащие в основе инновационных систем управления и оптимизации технологических процессов в сельском хозяйстве и племенной работы в животноводстве, позволяют повысить эффективность деятельности АПК, конкурентоспособность и инвестиционную привлекательность отрасли [32].

Цифровая трансформация птицеводческой отрасли представляет собой закономерный этап эволюции аграрного производства, обусловленный необходимостью повышения эффективности, обеспечения прослеживаемости продукции и минимизации влияния человеческого фактора. Интеграция информационных технологий в технологические процессы птицеводства создаёт предпосылки для перехода от традиционных методов ведения хозяйства к системам точного (прецизионного) птицеводства (precision poultry farming), базирующимся на непрерывном мониторинге, анализе больших данных и интеллектуальной поддержке принятия решений.

1.3.1 Эволюция и классификация цифровых решений в птицеводстве

Развитие цифровых технологий в птицеводстве прошло несколько этапов: от простой автоматизации учётных операций до внедрения киберфизических систем и искусственного интеллекта [278]. Современный технологический ландшафт отрасли может быть классифицирован по функциональному признаку на несколько ключевых направлений [278].

Системы управления производственными процессами и учёта образуют фундаментальный уровень цифровизации. Отраслевые решения на платформе «1С: ERP Управление птицеводческим предприятием» обеспечивают комплексную автоматизацию учётных функций, включая управление поголовьем, кормовыми рационами, ветеринарными мероприятиями и формирование аналитической отчётности [261]. Важной функциональной особенностью таких систем

становится их интеграция с государственными информационными ресурсами, в частности с ФГИС «Хорриот», что позволяет автоматизировать процесс передачи данных об идентификации и учёте животных, а также о проведённых ветеринарных мероприятиях в соответствии с требованиями законодательства [261].

Параллельно развиваются специализированные программные комплексы, такие как «КурКод», реализующие веб-ориентированную архитектуру для управления птицеводческими предприятиями [190, 226, 261, 318]. Подобные системы включают модули учёта персонала с хранением паспортных данных и трудовых договоров, управления структурой цехов и клеток, отслеживания перемещений поголовья и назначения рационов с учётом сезонности [261, 190, 226]. Использование современных фреймворков (Spring Boot, Vue.js) и контейнеризации (Docker) обеспечивает масштабируемость и отказоустойчивость таких решений [190, 226, 318].

Технологии Интернета вещей (IoT) и сенсорные сети составляют основу сбора первичных данных в птицеводческих помещениях [190]. Сети датчиков, включающие сенсоры температуры, относительной влажности, концентрации аммиака и скорости воздушного потока, обеспечивают непрерывный мониторинг микроклимата в режиме реального времени. Интеграция с облачными платформами (например, ThingSpeak) позволяет визуализировать собираемые данные и осуществлять удалённый контроль за состоянием производственной среды [190].

Роботизированные системы и автономные платформы представляют собой следующий уровень цифровизации, обеспечивающий автоматизацию трудоёмких операций [43]. Характерным примером являются мобильные роботы для обнаружения падежа кур-несушек при клеточном содержании, способные обследовать 100-метровый птичник за восемь минут. Идентификация клеток осуществляется посредством QR-кодов, а передача данных о выявленных потерях произ-

водится непосредственно в приложение или на дисплей оператора. Одновременно такие роботы собирают информацию о параметрах микроклимата, формируя комплексную картину условий содержания.

1.3.2 Технологии искусственного интеллекта и компьютерного зрения

Наиболее динамично развивающимся направлением цифровизации птицеводства выступает внедрение технологий искусственного интеллекта (ИИ) и машинного зрения [278]. Применение ИИ позволяет трансформировать собираемые первичные данные в управленческие решения и прогнозные оценки [318].

В сфере **мониторинга здоровья и благополучия птицы** особое значение приобретают мультимодальные подходы, объединяющие анализ видеоизображений, акустических сигналов и поведенческих паттернов [278]. Системы компьютерного зрения на основе свёрточных нейронных сетей (CNN) применяются для оценки состояния подстилки и ранней диагностики заболеваний, что способствует минимизации потерь поголовья. Акустический анализ позволяет выявлять респираторные заболевания на ранних стадиях, когда клинические проявления ещё не очевидны [278].

Управление продуктивностью и контроль качества реализуются через внедрение технологий неразрушающего контроля [278]. Компьютерное зрение применяется для оценки живой массы бройлеров без необходимости контакта с птицей, что снижает стресс и повышает точность измерений. В яичном производстве используются нейросетевые алгоритмы для автоматического подсчёта яиц, демонстрирующие точность до 100% при реализации на одноплатных компьютерах типа Raspberry Pi [278]. Технологии гиперспектральной визуализации находят применение для неразрушающей оценки качества яиц и выявления дефектов скорлупы.

Интеллектуальные системы управления микроклиматом и кормлением обеспечивают оптимизацию параметров содержания в зависимости от возраста, физиологического состояния и поведенческих реакций птицы [278, 280]. Практика передовых предприятий показывает, что ИИ-системы способны задавать параметры кормления до пяти раз в сутки, управлять температурой и освещением, что создаёт условия для реализации генетического потенциала продуктивности. Интеграция методов вычислительной гидродинамики (CFD) с инфракрасной термографией позволяет существенно повысить тепловой комфорт поголовья.

1.3.3 Прогнозная аналитика и системы поддержки принятия решений

Переход от реактивного управления к проактивному обеспечивается внедрением прогнозных моделей и рекомендательных систем. Современные платформы интегрируют модули прогнозирования яйценоскости и потребления корма на срок до 10 дней, что позволяет заблаговременно корректировать параметры содержания и кормления [278]. Объединение прогнозных моделей с метеорологическими данными и информацией о состоянии поголовья создаёт основу для формирования рекомендаций по корректировке технологических параметров. Особое значение приобретает концепция цифровых двойников (digital twins) птицеводческих предприятий [319]. Разработка многопараметрических моделей, учитывающих взаимодействие факторов среды, физиологического состояния и поведенческих реакций, открывает возможности для оптимизации производственных процессов в виртуальной среде перед их реализацией на физическом объекте [307, 318-320]. Однако, как отмечается в научной литературе, количественные модели механизмов распространения стрессового воздействия факторов среды остаются недостаточно разработанными, что ограничивает практическое применение данного подхода [278].

Блокчейн-технологии и обеспечение прослеживаемости формируют завершающий элемент цифровой экосистемы птицеводства [311]. Интеграция данных от производителя, переработчика и дистрибьютора в распределённом реестре обеспечивает прозрачность цепочки поставок и повышает доверие конечных потребителей [129]. В сочетании с обязательной системой маркировки и учёта животных, внедряемой в соответствии с законодательством, блокчейн-платформы могут стать основой для создания единой системы прослеживаемости продукции птицеводства [129].

1.3.4 Эмпирический анализ внедрения инновационных и цифровых Технологий

Разработка и внедрение инновационных технологий в птицеводстве имеет свои исторические корни. Со второй половины 20 века ученные и специалисты вели исследования по разработке технологических решений способствующих создание условий содержания птицы, приближенных к условиям естественной среды. Опираясь на результаты исследований в области этологии (поведения) сельскохозяйственной птицы разработана и внедрена биоакустика в птицеводстве. Имитация натуральных звуков квочки при насиживании, выводе и выращивании птенцов оказывает положительное влияние на качество продукции. "Речь" животных люди изучают с целью управления их поведением очень давно. Группой советских ученых впервые в мире был создан биотехнический комплекс "Сигнал", который с помощью акустических сигналов воздействует на поведение птиц в условиях птицефабрики. Его авторы – кандидат биологических наук Тихонов А., Мусаев А. и Гуцев В [188]. Цыплята в инкубаторах покидают скорлупу менее дружно, чем в естественных условиях: одни появляются на свет раньше, другие — позже. Птицефабрикам же выгоднее, чтобы птенцы покидали скорлупу

как можно раньше и одновременно. Опыты показали, что дружному вылупливанию предшествуют "щелкающие" звуки, издаваемые птенцами. Частота щелчков определена. Такой сигнал, только с несколько большей частотой и выдает комплекс "Сигнал". Эта своеобразная "подстройка" ритма приводит к ускоренному и дружному вылупливанию. В результате применения нового аппарата выход цыплят становится более дружным, а сам процесс сокращается по времени почти в два раза [38]. Компания Petersime, использует технологию Synchro-Hatch™, которая позволяет сузить истинное окно вывода посредством контроля вывода первых цыплят в выводной машине [301]. Система автоматически определяет точное время внутренного наклева, после чего выполняет ряд изменений окружающей среды для стимуляции одновременного вывода, а также автоматически распознает момент завершения вывода всех цыплят. Для оптимизации окончательного проклевывания цыплят и их подготовки к выводу, система запускает следующий этап инкубационного процесса. Эти действия позволяют сократить время вывода и обеспечить одновременный вывод цыплят, оказывая положительное влияние на усвоение корма, низкую смертность после выклева, высокую эффективность при забое и высокий объем производства в конце производственной цепочки [301, 187].

Практика передовых птицеводческих предприятий подтверждает эффективность цифровой трансформации отрасли [287, 320]. Показательным примером является АО «Племенной птицеводческий завод «Хабаровский», где в 2024 году начато внедрение комплексной системы искусственного интеллекта. На начальном этапе цифровизации к системе ИИ подключён цех получения яиц, где интеллектуальные алгоритмы контролируют параметры микроклимата, оптимизируют расход кормов и воды, а также управляют режимами освещения. Руководство предприятия отмечает, что автоматизация способствует снижению вероятности

ошибок, минимизации влияния человеческого фактора и повышению производственных показателей.

Научно-исследовательские разработки в области цифровизации птицеводства активно ведутся как в России, так и за рубежом [287, 320]. Учёные Тихоокеанского государственного университета разработали нейросетевые модели для прогнозирования продуктивности, которые могут быть адаптированы для птицеводческих предприятий. Международные исследовательские группы представляют комплексные платформы, интегрирующие оптимизацию размещения камер, аудиовизуальный мониторинг, обнаружение аномалий и прогнозную аналитику [299], что демонстрирует движение в сторону создания полностью интегрированных систем управления птицеводческими фермами [289].

В соответствии с концепцией научно-технологического развития цифровые технологии управления в АПК включают разработку аналитических инструментов и баз данных: годовой отчетности различных сфер деятельности в отрасли, о состоянии продовольственных и ресурсных рынков, результатов интеллектуальной деятельности НИИ и вузов аграрного профиля и др. [104].

Для выявления проблем, сдерживающих развитие цифровых технологий, определения наиболее приоритетных направлений государственной поддержки цифровизации АПК разработаны специализированные индексы для оценки степени проникновения цифровых технологий в АПК, создается единая информационная система прослеживаемости пищевой продукции с использованием прогнозных математических моделей на базе федеральной государственной информационной системы в области ветеринарии. Компонентом этой системы является система ветеринарной сертификации «Меркурий», функционирующая с 01.07.2018 года на всей территории России [39, 42].

1.3.5 Проблемы и ограничения цифровой трансформации

Несмотря на очевидные преимущества, внедрение цифровых технологий в птицеводство сопряжено с рядом проблем и ограничений. Высокая стоимость сенсорного оборудования и сетевой инфраструктуры остаётся существенным барьером для малых и средних предприятий. Недостаточная робастность алгоритмов, проявляющаяся в снижении точности распознавания при изменении условий освещения, плотности посадки или породного состава, ограничивает широкое промышленное применение разработанных решений.

Важной проблемой остаётся отсутствие стандартизации и, как следствие, воспроизводимости результатов научных исследований. В отличие от таких областей компьютерного зрения, как распознавание изображений, где существуют общедоступные эталонные наборы данных (ImageNet, COCO), в птицеводческих исследованиях каждый коллектив, как правило, формирует собственные датасеты, что затрудняет сравнение эффективности различных подходов.

Дефицит квалифицированных кадров, способных обслуживать и эксплуатировать цифровые системы, также выступает сдерживающим фактором. Хотя автоматизация и призвана смягчить проблему нехватки персонала, она требует привлечения специалистов нового профиля — системных интеграторов, аналитиков данных, инженеров по обслуживанию роботизированных комплексов.

Таким образом, цифровая трансформация птицеводства представляет собой сложный многоаспектный процесс, охватывающий автоматизацию учёта, внедрение IoT-сенсорики, применение технологий искусственного интеллекта и развитие прогнозной аналитики. Эмпирические данные свидетельствуют о росте эффективности производства при внедрении цифровых решений, однако сохраняющиеся проблемы, связанные с высокими затратами, недостаточной стандартизацией и кадровым дефицитом, требуют дальнейших исследований и разработки адаптированных к условиям конкретных предприятий подходов к цифровизации.

1.4 Анализ технологии инфракрасной идентификации и оценка перспектив использования в птицеводстве

Системы идентификации являются основополагающим элементом в вопросе цифровизации сельского хозяйства. Возможность точно и в режиме реального времени определять уникальные идентификаторы биологических объектов, позволяет решать ряд важных задач, которые встают перед специалистами промышленных птицеводческих предприятий. Инновационные технологии такие как идентификация, основывающаяся на инфракрасном излучении, имеет определенные перспективы внедрения на производстве с целью решения задач по автоматизации технологических процессов на птицеводческих фермах.

Современное сельское хозяйство стремительно развивается [224, 280], внедряя передовые технологии [62, 118] для повышения эффективности и продуктивности животноводства. Одним из ключевых направлений являются автоматизация и цифровизация процессов идентификации сельскохозяйственных животных [3], который играет важную роль в управлении сельскохозяйственными предприятиями [198], обеспечении здоровья поголовья, контроле за качеством продукции и производственными показателями [1, 150].

Инфракрасная идентификация обладает рядом преимуществ, таких как бесконтактность, высокая точность и возможность автоматизации, представляет собой перспективное направление в развитии технологий мониторинга и повышения производительности труда.

Интеграция инфракрасных систем идентификации с современными алгоритмами обработки данных и технологиями искусственного интеллекта открывает новые возможности для автоматизации процессов мониторинга. Системы, оборудованные специализированным программным обеспечением, способны анализировать динамику тепловых профилей биологшических объектов в режиме реального времени, что позволяет не только проводить идентификацию, но и осуществлять

диагностику физиологического состояния и физических параметров. Это способствует значительному повышению точности и оперативности принятия управленческих решений позволяя своевременно корректировать технологические процессы [314].

Развитие инфракрасных методов идентификации тесно связано с глобальными тенденциями по внедрению цифровых технологий и автоматизированных систем в сельскохозяйственное производство [7, 186]. В условиях, когда объемы данных, получаемых от сельскохозяйственных объектов, постоянно возрастают, актуальность разработки инновационных методов учета и мониторинга поголовья, качества продукции становится особенно высокой.

Следовательно, развитие и внедрение инфракрасных систем идентификации представляет собой значительный шаг вперед в решении задач современного животноводства и птицеводства [88]. Объединение точного мониторинга местоположения, идентификации и анализа физиологического и физического состояния биологических объектов с высокими возможностями обработки данных позволяет создать комплексные системы контроля, способные удовлетворить потребности крупных аграрных предприятий. В условиях динамичного развития технологий и растущей потребности в автоматизации сельскохозяйственных процессов, исследования в области инфракрасной идентификации приобретают особую актуальность, открывая перспективы для дальнейшего совершенствования методов учета и управления качеством продукции.

Инфракрасная идентификация — это технология, которая использует инфракрасное излучение для распознавания и отслеживания объектов. В птицеводческих промышленных комплексах такая технология может быть применена для идентификации птицы, мониторинг их физиологического состояния и качественных параметров яиц, автоматизации процессов управления и повышения эффективности производства [298].

В своей работе Абдрахимов Д.А. (2025) дает описанию алгоритму работы ИК-идентификации, отмечает её преимущества и недостатки, а также перспективы использования в сельском хозяйстве. Анализируя информацию следует выделить преимущества и недостатки применимости инфракрасной идентификации в птицеводстве.

Преимущества:

- хорошо распространяется в воздухе;

- не проходит через стены, что позволяет использовать одинаковые в соседних помещениях без взаимных помех;

- безопасно для птицы, людей, так как не оказывает вредного воздействия и не вызывает у них стресса, не снижает качество продукции;

- ИК-системы позволяют автоматизировать процессы идентификации и мониторинга, что снижает трудозатраты и повышает точность учета.

Недостатки:

- ограниченная дальность действия: ИК-сигналы работают на коротких расстояниях, что делает их менее подходящими для использования на открытых пространствах;

- зависимость от инфраструктуры: для работы ИК-системы необходимо установить приемники и программное обеспечение, что может быть затратно для не крупных птицеводческих предприятий;

- чувствительность к помехам: пыль, туман или другие препятствия могут ухудшать качество сигнала.

Инфракрасная идентификация обладает значительным потенциалом для применения в промышленном птицеводстве. Её использование может значительно повысить эффективность управления животноводческими предприятиями, улучшить контроль за состоянием птицы и автоматизировать ключевые трудоемкие технологические процессы

Таким образом, инфракрасная идентификация является многофункциональным инструментом, который не только решает узкие задачи учета, но и комплексно преобразует управление современным агропромышленным комплексом, делая его более точным, эффективным и прозрачным

1.5 Выводы по главе 1

На основе проведённого анализа литературных источников и современного состояния вопроса в области яичного птицеводства можно сделать следующие выводы:

1. 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.

2. Направленное выращивание ремонтного молодняка подразделяется на три ключевых периода (0–8, 8–13 и 13–20 недель). Установлено, что живая масса в 5-недельном возрасте имеет высокую корреляцию с последующей продуктивностью (коэффициент корреляции 0,94) и сохранностью поголовья, а однородность стада (не менее 80% особей в пределах ±10% от средней массы) является критическим показателем для успешной эксплуатации птицы.

3. Кормление сельскохозяйственной птицы составляет 45–55% в структуре себестоимости продукции. 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 и обеспечения высокого уровня яичной продуктивности.

4. Цифровая трансформация птицеводства 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.

5. 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.

6. Инфракрасная идентификация признана перспективным инструментом цифровизации птицеводства. Её преимущества (бесконтактность, безопасность, возможность автоматизации и интеграции с алгоритмами ИИ) позволяют рассматривать данную технологию как эффективное средство для решения задач точного учёта поголовья, мониторинга состояния птицы и управления качеством продукции в промышленных масштабах.

7. Выявлены основные проблемы и ограничения цифровой трансформации отрасли: высокая стоимость оборудования, недостаточная робастность алгоритмов в изменяющихся производственных условиях, отсутствие унифицированных стандартов и дефицит квалифицированных кадров, что определяет направления для дальнейших исследований и разработок.

8. Анализ состояния вопроса подтверждает, что повышение эффективности яичного птицеводства возможно лишь при комплексном подходе, объединяющем использование высокопродуктивных генотипов, строгое соблюдение регламентированных технологий кормления и содержания на всех этапах онтогенеза, а также активное внедрение инновационных цифровых технологий, включая разработку систем, основанных на искусственном интеллекте.

ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Обоснование генотипических и паратипических факторов в реализации биологического потенциала сельскохозяйственной птицы

Промышленное птицеводство России – это одно из наиболее интенсивных и динамичных отраслей агропромышленного комплекса. За последнее десятилетие значительно возросло поголовье всех видов птицы, что позволило существенно увеличить производство продукции и повысить удельный вес специализированных хозяйств в производстве и обеспечении населения яйцом и мясом птицы. Производство пищевых яиц в больших масштабах требует получения огромного количества яиц с высокими инкубационными качествами, инкубация их и выращивание ремонтного молодняка. От успешного проведения этих мероприятий в значительной степени будет зависеть эффективность всей последующей технологической цепи до получения конечного продукта и его качества. Важным условием производства пищевых и инкубационных яиц высокого качества является применение инновационных методов контроля, обеспечения регламентируемых технологических режимов производства и хранения, анализа причин снижения качества и появления дефектов [128, 179, 199, 202].

В последние годы в промышленном птицеводстве произошли существенные изменения – появились новые высопродуктивные кроссы, активно внедряются интенсивные технологии выращивания молодняка, кормления и содержания кур родительского и промышленного стада, широко стал использоваться цифровые технологии, компьютерный мониторинг режимов работы оборудования и управления процессами. При этом актуальным остается проблема обеспечения биологической безопасности производства продуктов питания. Важную роль в технологической цепи производства продукции птицеводства играет инкубация яиц, качество полученных суточных цыплят и выращивание ремонтного молодняка [4, 79, 91, 145, 153].

Выращивание ремонтного молодняка кур – важнейший процесс, от которого существенно зависит яичная продуктивность взрослой птицы. В совершенствовании менеджмента выращивания молодняка птицы в ранний постнатальный период больное значение имеет мобилизация биологических возможностей организма. Следовательно, эффективность выращивания ремонтного молодняка кур зависит от исходного качества «материнского материала», так и от технологических приемов кормления птицы, начиная с суточного возраста. Так, например, в своих исследованиях Алиева Э.Н. (2021), Логвинов О.Л. (2022) установили, что «…шестикратное кормление молодняка в первые пять дней жизни улучшает адаптацию к факторам окружающей среды, повышает в недельном возрасте однородность стада птицы на 7,5%, а в 12-недельном – деловой выход ремонтных молодок на 4,1%» [9, 117].

Сравнительное изучение роста и развития ремонтного молодняка кур кроссов Ломанн Браун-Классик, Браун Ник, Корал и Супер Ник, проводимое Ананиковым Я.Г. (2024) показало, что: «… величина живой массы суточных цыплят в группах кроссов молодняка кур не имела достоверных различий и варьировала от 35,2 г (кросс Корал) до 36,5 г (кросс Браун Ник).В возрасте 7 недель живая масса цыплят коричневых кроссов (Ломан Браун-Классик и Браун Ник) внутри групп существенно не отличалась, разница составила 1,4%, разница по живой массе белых кроссов (Корал и Супер Ник) была более существенной - 9,3%. При анализе показателей живой массы молодняка в возрасте 7 недель выявлено достоверное превосходство коричневых кроссов над белыми, разница при этом варьировала от 6,9% до 16,7%, в том числе молодняка кросса Ломанн Браун-Классик над цыплятами кроссов Корал и Супер Ник. В возрастные промежутки 14 и 21 недели выявлена закономерная разница в живой массе между коричневыми и белыми кроссами. Высокой живой массой характеризуется молодняк кросса Ломан Браун-Классик, что достоверно выше, чем у сверстниц кросса Корал и Супер

Ник на 6,6% и 12,1%, соответственно, и в возрасте 21 неделя – 8,6% и 16,1%, соответственно. Достоверно более высокая живая масса выявлена у молодняка кросса Браун Ник за учетный период. Живая масса сверстниц кросса Корал и Супер Ник по учетным возрастным периодам (7,14 и 21 недели) была меньше - на 5,7% - 18,4%, соответственно» [133, 164].

Паронян И.А. и др. (2015) проводя исследования по изучению весовых показателей роста цыплят для ремонта родительского стада, которые в суточном возрасте были доставлены из Германии (двухлинейный кросс) и цыплят, выращиваемых для продуктивного стада, полученных в условиях птицефабрики (четырехлинейный кросс) установили, что «…четырехлинейные цыплята для ремонта промышленного стада росли лучше и интенсивнее. На 40-й день они имели живую массу на 85 г, или на 19,4 % больше, чем их сверстницы двухлинейные цыплята, подвергнутые транспортному стрессу в первые дни жизни. По всем показателям интенсивности роста они достоверно превосходили своих сверстников из первой группы [176].

Анализ влияния морфологических показателей инкубационных яиц (в том числе масса яйца и индекс формы яйца) на рост и развитие ремонтного молодняка, проведенный группой исследователей, показал, что: «…живая масса суточных цыплят имела определенную вариабельность. В первой группе (масса яйца до 55 г и индекс формы (0,581-0,814)) живая варьировала от 31,81 г до 35,47 г, при коэффициенте вариации 3,5%, а во второй, третьей и четвертой группе (масса яйца от 55 до 65 г и индексе формы (0,687-0,725), (0,726-0,764), (0,765-0,805) по группам соответственно) от 37,12 г до 42,81 г с величиной коэффициента вариации 3,8%, 4,1% и 6,2%. Учитывая высокую корреляционную связь между массой яиц и массой суточных цыплят выявлена закономерно достоверно низкая живая масса суточных цыплят, полученных от яиц массой до 55 г. Масса суточных цыплят второй группы была достоверно выше ($P < 0,05$) чем в третьей и четвертой

группе на 1,4% и 1,2%, соответственно. В возрасте семь дней достоверно низкие среднесуточные приросты на 15,0-16,6% выявлены в первой группе цыплят (масса яйца до 55 г). По живой массе и среднесуточным приростам живой массы цыплят между второй, третей и четвертой группой достоверных различий не выявлено. Такая же тенденция по живой массе и среднесуточным приростам ремонтного молодняка отмечается во все возрастные периоды от рождения до возраста 17 недель. В возрасте 17 недель (119 дней) разница в живой массе ремонтного молодняка между второй, третьей и четвертой группой была не существенной и варьировала от 0,14% до 0,38%, а по среднесуточным приростам от 0,05% до 1,16%. Ремонтный молодняк первой группы достоверно ($P < 0,001$) уступал сверстницам по живой массе на 207,48 – 213,94 г, а по среднесуточным приростам на 15,5 – 14,5% ($P < 0,05$), соответственно. Однородность птицы по живой массе при переводе (в возрасте 110-119 дней) в группах составила 80,2-85,7%. При этом самой низкой (80,2%) однородностью по живой массе характеризовался молодняк первой группы» [45, 46, 48].

За последние десятилетия специалисты в области селекции и генетики птицы совершили огромный прорыв в направлении разработки приемов по повышению скороспелости мясной и яичной птицы, уровня продуктивности и качеству получаемой продукции, продолжительности продуктивного и племенного использования яичной птицы. Как пишут О.И. Станишевская и др. (2006), Степаненко Н. (2020): «Это привело к тому, что современные кроссы сельскохозяйственной птицы существенно отличаются от своих предшественников по интенсивности роста, развития количественным и качественным параметрам продуктивности» [177, 182].

Обобщая многочисленные исследования отечественных и зарубежных ученных в своей монографии Щербатов В.И., Смирнова Л.И., Щербатов О.В. (2015) отмечают, что «…особое место среди хозяйственно полезных признаков

птицы занимает скорость роста, от которой зависит живая масса и возраст молодняка, от которого в большей степени зависит начало продуктивного периода сельскохозяйственной птицы, а основным приемом качественного выращивания является направленное выращивание, основной целью которого является получение однородного стада кур с хорошими адаптивными способностями, пропорционально развитыми экстерьерно-функциональными особенностями, высокой яйценоскостью и приспособленных к длительному биологическому периоду» [218].

Яйцо птицы имеет сложное строение. Размер, масса морфологические признаки, химический состав и физические свойства яйца зависят от генотипических факторов (вида, породы, линии, кросса) и паратипических факторов (возраста, условий содержания и кормления). Вместе с тем яйца птицы разных видов и направлений продуктивности имеют много общего, что можно установить, например, при изучении строения яйца курицы.

В течение последних десятков лет селекция домашней птицы привела не только к созданию специализированных гибридных несушек и скороспелых кроссов бройлеров, характеризующихся хорошей жизнеспособностью, продуктивность которых сильно превышает показатели их диких предков, что соответствует требованиям современного рынка, но и к сохранению лучших племенных ресурсов и созданию новых высокопродуктивных адаптированных пород. Результатами селекционных работ в яичном птицеводстве является не только увеличение массы яйца, но и изменения в соотношении составных его частей [46, 69, 92,106].

Возрастающая конкуренция в промышленном птицеводстве требует использования высокопродуктивных кроссов кур-несушек. Высокий генетический потенциал птицы кросса «Ломанн ЛСЛ», полноценное кормление и благоприятные условия содержания на птицефабрике создают возможность получения вы-

сококачественных инкубационных яиц. Гибридная курочка, выведенная из такого яйца, имеет хорошие показатели яичной продуктивности (за год от каждой несушки можно получить до 330 штук яиц), сохранности (94–96 %), конверсии кормов (2–2,2 кг/кг яйцемассы). Инкубационное яйцо птицы «Ломанн ЛСЛ-классик» имеет отличное качество [196].

По результатам своих исследований ряд ученых: Romanyk H.M. (2020), Джагаев А. Ю. (2022), Щербинина М.А. (2019) установили, что «Селекция сыграла ведущую роль в формировании высокого генетического потенциала продуктивности и его реализации. У большинства яичных кроссов кур яйценоскость достигла 330-350 шт. яиц. При этом длительная селекция по продуктивным признакам привела к уменьшению генетического разнообразия и снижению эффекта селекции» [64, 219, 305].

Макарова А.В. (2019) в своей работе показала: «По уровню яйценоскости трехпородные гибриды превосходят двухпородных матерей и чешскую золотистую породу, которая является отцовской формой. Благодаря низкой живой массе отцовской формы, полученные трехпородные гибриды имеют живую массу ниже, чем куры двухпородной материнской формы. В то же время по массе яиц между двух- и трехпородными формами достоверных различий не выявлено. При уменьшении живой массы птицы, сокращается потребление корма, сохранение массы яиц и увеличение яичной продуктивности, что ведет к снижению себестоимости продукции. Птица с низкой живой массой имеет компактные размеры, что позволяет более рационально использовать производственные площади. По большинству качественных характеристик яиц трехпородные гибриды имеют промежуточные значения между отцовской и материнской формами. Трехпородные гибридные куры уступают двухпородным матерям по показателям содержания желтка в яйце и калорийности яичной массы, но не имеют достоверных различий с отцовской формой - породой чешская золотистая» [119].

Vasileva A. V. (2018), Kolanczyk M. (2010) отмечают, что «…размер яиц зависит от множества факторов: возраста несушек, живой массы кур, генетических факторов, систем кормления и содержания, здоровье несушек и внешних факторов. В статье Kolanczyk M. (2010) определена оптимальная масса инкубационных яиц, которая равна 50-70 г. Опережающий рост белка существенно повлиял на соотношение белок/желток. Масса яйца и соотношение белка, желтка, скорлупы, одинаково важны как для инкубации, так и производства товарной продукции» [40, 281, 286].

Vasileva A. V. (2018), Kavtarashvili A. (2022), Белая М. В. (2015) показали, что «…результатами селекционных работ в яичном птицеводстве является не только увеличение массы яйца, но и изменения в соотношении составных его частей. Аномалии в форме изменения морфологии могут оказать влияние на пищевые и инкубационные качества яичной продукции сельскохозяйственной птицы. Морфометрические и качественные показатели яйца зависят от таких факторов, как направление продуктивности, порода, кросс, возраст [19, 281, 286].

Исследованиями Батанова С.Д., Ананикова Я.Г. и других (2024) установлено, что: «…морфометрические показатели качества яиц увеличились в возрастной динамике кур. При этом следует отметить, что в большей степени изменились объем яйца (на 10,1%), площадь продольного сечения (на 9,1%), большой диаметр (на 7,5%), площадь поверхности яйца (на 7,4%), длина большей окружности (на 5,2%). Незначительно изменились малый диаметр (на 1,3%), длина меньшей окружности (на 1,2%), площадь поперечного сечения (на 2,5%), при относительно постоянной величине угла острого конца яиц и индекса формы яйца. Следует отметить, что наиболее высокой вариабельностью в репродуктивный период 42 недели отличалась величина площади поверхности яйца (8,2%), а в пе-

риод 80 недель объем яйца (12,62%), площадь поперечного сечения (9,01%), площадь продольного сечения (8,87%) и площадь поверхности яйца (8,73%)» [316, 317].

На 42-й неделе яйцекладки масса яйца составила в среднем 53,06 г, а на 80-й соответственно 59,03 г, масса яиц достоверно (P <0,001) возросла на 11,3%. Масса яйца генетически связана со всеми тремя основными компонентами: скорлупой, белком и желтком. Масса белка в анализируемый репродуктивный период увеличилась на 5,0% (P <0,01), желтка – на 23,2%(P <0,001), скорлупы на13,9% (P <0,01), при увеличении абсолютной массы белка его относительное содержание в яйце снизилось с 61,0% на 42-йнеделе яйцекладки кур до 57,9% на 80-й неделе. При этом относительная масса желтка за этот период возросла с 25,9% до 26,7%, а скорлупы соответственно с 13,1% до 13,5%. Высота белка снизилась на 19,3% (P <0,001), диаметр желтка, большой и малый диаметр белка достоверно (P <0,001) увеличились соответственно на 10,8%, 12,9% и 13,0% при незначительном изменении высоты желтка. Высокий показатель толщины скорлупы (на 2,2%, P <0,05) и ее процентное содержание (13,5%) имели яйца кур в конце репродуктивного периода (80 недель) по отношению к яйцам, полученным от кур несушек на 42 неделе яйцекладки. За учетный период толщина скорлупы повысилась с 0,403 мм до 0,412 мм» [170, 295, 316].

В работе Дарьина А.И. (2023) по изучению морфологических параметров яиц кур мясных кроссов отмечено: «Все морфологические показатели яиц соответствуют оптимальным значениям: индекс белка - от 6,98%, индекс желтка - 44,41%, индекс формы - от 77,78%. Наиболее высокой массой яиц отличались куры в 45-недельном возрасте - 66,69 г. Наибольшая толщина скорлупы отмечена в 38-недельном возрасте - 374,42 мкм. Наибольший индекс белка и желтка выявлен у кур-несушек в 38-недельном возрасте 7,16 и 44,67 соответственно» [61].

По результатам анализа Yunusova, O. Yu. et al. (2024) было выявлено: «Организация кормления кур-несушек в зависимости от периода яйцекладки способствует поддержанию яичной продуктивности: на пике яйцекладки продуктивность составляет 96,9%, а к концу яйцекладки - 86,0%, масса яйца увеличивается с возрастом от 45,2 до 69,4 г» [326].

При анализе результатов своих исследований Васильевой Л.Т., Бычаева А.Г. (2023) по изучению коррелятивной связи качественных параметров яиц с некоторыми паратипическими признаками отмечают, что: «…установлена достоверная отрицательная зависимость качества скорлупы (прочности, упругой деформации, мраморности и пигментации) и возраста кур. Мраморность скорлупы понизилась почти на балл в процессе эксплуатации птицы. С возрастом кур на 47% снизилась прочность скорлупы. Отношение массы белка к массе желтка с 3,41 у яиц, полученных от самой молодой птицы, достоверно снижалось и у 85-недельных кур достигло 2,32, т. е. яйца кур с возрастом приобретали более высокую питательность. Подвижность белка и его относительная масса, а также толщина скорлупы с возрастом связаны криволинейной зависимостью. Наиболее плотный белок оказался у яиц кур в 48 недель, но далее была замечена тенденция снижения его плотности, однако он оставался в яйцах более плотным по сравнению с первыми 28 неделями жизни кур» [40].

Анализируя пути повышения продуктивных и репродуктивных качеств сельскохозяйственной птицы следует отметить, что «…повышение продуктивности кур пищевых и инкубационных качеств яиц на современном этапе решается на основе интенсификации технологий и селекционных процессов в птицеводческой отрасли, в том числе и за счет создания новых высокопродуктивных кроссов, обладающих высокими репродуктивными качествами и приспособленных к использованию в условиях промышленной технологии» [219, 313].

2.2 Инкубация яиц, факторы влияющие на результаты инкубации и качество суточных цыплят

Инкубация (Incubo) — термин латинского происхождения, означающий насиживание яиц. На современном уровне развития птицеводства под искусственной инкубацией следует понимать технологию получения здорового суточного молодняка. Инкубация яиц является основополагающим звеном в технологической цепи производства продукции в крупных промышленных птицеводческих предприятиях. Одновременно с увеличением производства яиц и мяса птицы на товарных птицефабриках и специализированных племенных птицеводческих хозяйствах благодаря инкубации создаются условия для организации поточного производства в яичном и мясном птицеводстве. Результаты круглогодовой инкубации зависят от многих факторов и требуют равномерного (по месяцам) производства полноценных яиц, установления научно обоснованного, апробированного на производстве режима инкубации. Режим инкубации разрабатываются и совершенствуются на основе биологических закономерностей эмбрионального развития птицы, организации поточно-цикличных закладок при выводе молодняка крупными партиями во все сезоны года, а также биологического контроля за качеством яиц и эмбриональным развитием в инкубационный период [21].

Крупномасштабное воспроизводство сельскохозяйственной птицы невозможно без инкубации яиц так интенсификация промышленного птицеводства сопровождается не только увеличением объема инкубации яиц, но и повышением качественных показателей ее результатов. Инкубация яиц позволяет непрерывно, в любой сезон года, получать крупные партии суточного молодняка, необходимого для пополнения промышленного и родительского стада кур-несушек, для выращивания молодняка на мясо и для воспроизводства племенной птицы разных видов [67, 72, 217].

Опираясь на результаты своих исследований Гузенко Е. (1992), Бессарабов Б.Ф. (2006), Мелехина Т. и др. (2006), Царенко П.П. (2008) установили, что «Выводимость яиц, сроки вывода цыплят, успех выращивания ремонтного молодняка и дальнейшая продуктивность кур в значительной степени зависят от качества инкубационных яиц. На качество яиц влияет целый комплекс генотипических и паратипических факторов: возраст кур-несушек, кормление, условия содержания, микроклимат помещений, состояние здоровья, экстерьер, интерьер, вид, порода, кросс, а также сроки и условия хранения яйца. С увеличением возраста кур-несушек ухудшаются морфофизические и инкубационные качества яиц, с увеличением срока хранения яиц снижается качество суточных цыплят, увеличивается продолжительность инкубации и «окно» вывода.» [24, 60, 124, 200].

Повышение биологической и товарной ценности инкубационных и пищевых яиц, снижение потерь при сборке, сортировке, транспортировке и инкубации имеет большое экономическое значение. В связи с этим в настоящее время улучшение качества яиц в мировом птицеводстве является актуальной проблемой над которой трудятся ученые и специалисты производства. Многие птицефабрики закупают дорогостоящее инкубационное яйцо, которое необходимо закладывать в короткие сроки с минимальной выбраковкой. Инкубация большого числа яиц в крупных инкубаторах может привести к закладке неоднородных яиц. От неоднородного яйца получают широкое «окно» вывода (достигающее 42 часов), которое определяется, как период времени, прошедший от вылупления первого цыпленка до вылупления последнего цыпленка [253, 315**].**

Оценка качества инкубационных яиц позволяет судить о состоянии родительского стада, условиях кормления и содержания птицы. При оценке яиц по внешнему виду и при просвечивании на овоскопе учитывают размер и форму яиц, состояние скорлупы, размеры и положение воздушной камеры, наличие трещин

(насечка, бой) в скорлупе и различного рода включения в яйцах, положение и подвижность желтка, состояние градинок и т.д. [145].

В сельскохозяйственном птицеводстве классификация кур осуществляется по направлению продуктивности и делится на породы яичные, мясные, комбинированные (мясояичные, яично-мясные) [271]. Современные яичные кроссы созданы на основе птицы породы леггорн [103].

Анализируя продолжительность эмбрионального развития и качество суточных цыплят Bray D.F. и Iton E.I. (1962) выявили значительные различия в скорости нарастания массы эмбрионов в одни и те же сроки инкубации яиц кур разных пород, при этом масса суточных цыплят была одинакова. В то же время в работах Hassan G.M. и Nordskog A.W. [273] отмечаются существенные различия в массе цыплят в период вывода при одинаковой массе заложенных на инкубацию яиц от кур различных кроссов и линий [241].

Выводимость яиц, вывод цыплят, последующий рост и развитие молодняка, продуктивность кур и морфометрические параметры яиц в значительной степени зависят от качества инкубационных яиц. Одним из определяющих факторов, влияющих на качество яиц, является возраст несушек [60]. Отечественные и зарубежные ученые в своих исследованиях отмечают: «… с увеличением возраста ухудшаются морфо-биохимические и инкубационные качества яиц. Выявлено снижение индекса формы, единиц Хау, индексов белка и желтка, плотности яиц, высоты белка и показателей плотности его фракций, содержание витамина В2 и оплодотворенности. При этом с возрастом увеличивается доля желтка в яйце, количество витамина А и каротиноидов [21, 28, 73, 124, 159, 252, 241, 243, 258, 259].

При анализе результатов исследований, изложенных в статье Kolanczyk M. (2010) определена оптимальная масса инкубационных яиц, которая равна 50-70

г. В свою очередь по данным ряда других авторов (Kavtarashvili A., 2022; Васильева Л.Т. и др., 2023) опережающий рост белка существенно повлиял на отношение белок/желток. Масса яйца и соотношение белка, желтка, скорлупы, одинаково важны как для инкубации, так и при производстве товарной продукции» [73, 252, 300].

По данным Кривопишина И.П. (2001) цыплята из мелких яиц, полученных от молодой птицы, растут интенсивнее, но уступают по живой массе цыплятам, полученным из крупных яиц от кур в возрасте 54 недель [109]. В исследованиях зарубежных авторов (Bray T., 1985; Elibol O. И др., 2003) отмечается, что сохранность цыплят, полученных от 7-месячных несушек, на 2,5% меньше сохранности цыплят, полученных от более взрослой птицы. При этом выявлена зависимость продуктивности птицы и сохранности цыплят от массы яиц кур-несушек разного возраста [242, 258].

Бурдашкиной В. (2012) изучены результаты инкубации, где выявлено, что самый низкий вывод цыплят у яиц, полученных от кур в возрасте 500 дней. При этом автор отмечает: «Для повышения качества кур родительского стада, высокой продуктивности птицы и экономической эффективности производства, следует использовать для инкубации яйца, полученные от кур-несушек родительского стада возрастом 300-400 суток» [33].

Таким образом, морфометрические параметры яиц, которые зависят от множества паратипических факторов и режимы инкубации предопределяют качество молодняка, получаемого в результате инкубации, что оказывает решающее влияние на рост, развитие, продуктивность птицы и конверсию корма. В своем научном труде Вибе фон дер Слаюс (2009) пишет: «По мнению ведущего эмбриолога, Pas Reform, доктора Марлен Бурьян инкубация играет жизненно важную роль в формировании продуктивности коммерческих пород. Изменилось

не только пропорциональное соотношение времени жизни, проведенного цыпленком в инкубатории. Исследования доказали, что каждая из современных пород генерирует свою собственную уникальную тепловую подпись в яйце» [44]. Эффективность выращивания во многом предопределена однородностью суточных цыплят, поступивших из инкубатора. Высокая однородность суточных цыплят способствует повышению среднесуточных приростов и живой массы молодняка к возрасту продуктивного периода, улучшает конверсию корма, снижает падеж в стаде и повышает эффективность производства.

2.3 Обоснование технологической применимости инфракрасной системы для получения изображений

Выбор спектрального интервала функционирования системы идентификации базируется на анализе физических механизмов взаимодействия электромагнитного излучения с веществом [151]. Фундаментальной основой такого взаимодействия выступает явление дисперсии [114, 118, 123], обусловленное вынужденными колебаниями заряженных частиц (электронов и ионов) под действием переменного электрического поля световой волны [101, 130].

С позиций квантовой теории взаимодействие излучения с веществом описывается решением нестационарного уравнения Шредингера [114]:

$$i\hbar \frac{\partial \psi(r,t)}{\partial t} = \hat{H}\psi(r,t), \qquad (1)$$

где i – мнимая единица, $\hbar$ - постоянная Планка, Ψ(r,t) – волновая функция системы, $\hat{H}$ – гамильтониан, характеризующий полную энергию атома во внешнем поле. В оптическом диапазоне спектра ключевую роль играют переходы периферийных (оптических) электронов, тогда как электроны внутренних оболочек имеют собственные частоты, лежащие в более высокоэнергетической области [151].

Для макроскопического описания дисперсионных свойств среды допустимо использование классической модели [130] гармонического осциллятора, в рамках которой движение электрона под действием внешнего поля описывается уравнением:

$$m\frac{d^2x}{dt^2} + \gamma\frac{dx}{dt} + kx = -eE(t), \qquad (2)$$

где m и e – масса и заряд электрона соответственно, γ – коэффициент затухания (обусловленный диссипативными процессами), k – коэффициент квазиупругой силы, $E(t)$ – напряженность электрического поля волны. Данное приближение корректно отражает резонансный характер взаимодействия, однако определение собственных частот осцилляторов возможно лишь в рамках квантовой теории [114].

Решение уравнения движения позволяет получить выражение для комплексной диэлектрической проницаемости среды [130], что приводит к следующей зависимости комплексного показателя преломления от частоты излучения:

$$n(\omega) = 1 + \frac{e^2}{2\epsilon_0 m}\sum_j \frac{N_j}{\omega_j^2 - \omega^2 - i\gamma_j\omega}, \qquad (3)$$

где ω – частота падающего излучения, ω_j – собственная частота осцилляторов j-го типа, N_j— концентрация осцилляторов с данной частотой, γ_j – соответствующий коэффициент затухания. Представление показателя преломления в комплексной форме:

$$n(\omega)=n'(\omega)+in''(\omega), \qquad (4)$$

позволяет разделить процессы, определяющие фазовую скорость распространения (действительная часть $n'(\omega)$) и поглощение энергии (мнимая часть $n''(\omega)$) [123].

Анализ дисперсионного соотношения показывает, что вдали от резонансных частот ($\omega \ll \omega_j$ или $\omega \gg \omega_j$) мнимая часть показателя преломления пренебрежимо мала, и среда характеризуется слабым поглощением. Напротив, при $\omega \to \omega_j$

знаменатель выражения стремится к минимуму, что приводит к резкому возрастанию $n''(\omega)$ и, следовательно, к интенсивному поглощению излучения [114, 123].

Для большинства газов, включая атмосферный воздух, собственные частоты электронных переходов лежат в ультрафиолетовой области спектра ($\omega_j \gg \omega_{ИК}$) [151]. В этом случае в инфракрасном (ИК) диапазоне выполняется условие $\omega_2 \ll \omega_j^2$, и показатель преломления становится практически вещественной величиной, слабо зависящей от частоты:

$$n(\omega) \approx 1 + \frac{e^2}{2\epsilon_0 m} \sum_j \frac{N_j}{\omega_j^2}. \quad (5)$$

Данное обстоятельство обеспечивает минимальное ослабление ИК-излучения при распространении в воздушной среде. Одновременно с этим строительные материалы на основе минеральных вяжущих (бетон, кирпич) характеризуются наличием резонансных частот в ИК-диапазоне, обусловленных колебаниями ионных остовов и связанных зарядов. Для таких сред $\omega \approx \omega_j$, что приводит к доминированию мнимой компоненты показателя преломления и, как следствие, к экспоненциальному затуханию проходящего излучения [130, 323].

Изложенные физические закономерности позволяют выделить ближний ИК-диапазон (700–1500 нм) как оптимальный для целей идентификации в условиях животноводческих помещений. Указанный спектральный интервал обладает следующими свойствами [118, 130]:

- высокий коэффициент отражения от конструкционных материалов (стен, ограждений, оборудования);
- низкое поглощение и рассеяние в воздушной среде, что обеспечивает устойчивое распространение сигнала;
- эффективное экранирование бетонными конструкциями, что позволяет использовать идентичные метки в смежных помещениях без возникновения интерференции.

Для создания универсальной системы идентификации предлагается рассмотреть следующие варианты инфракрасных излучателей:

1. Инфракрасные светодиоды.

Принцип действия основан на полупроводниковых p-n-переходах, в которых рекомбинация носителей заряда сопровождается излучением в ИК-диапазоне.

Ограничения заключаются в относительно низкой выходной мощности по сравнению с лазерными источниками; ширина спектральной линии (20–50 нм) может требовать учета при использовании узкополосных фильтров.

2. Лазерные фотодиоды.

Принцип действия основан на полупроводниковых лазерных диодах с инжекционной накачкой, обеспечивающие когерентное излучение.

Ограничения применения лазерных фотодиодов заключаются в избыточной для задачи идентификации когерентности и высокой спектральной частоте; повышенная сложность драйверов управления; риск повреждения при статическом электричестве.

3. Фотодиоды на основе HgCdTe (MCT твердый раствор теллурида кадмия (CdTe) и теллурида ртути (HgTe), представляющий собой узкозонный полупроводниковый материал.)

Принцип действия основан на действие фотоприемника на основе твердого раствора теллурида кадмия-ртути, чувствительные в широком ИК-диапазоне.

Ограничения применения указанного варианта инфракрасного излучателя основано на приеме излучения, а не его генерации; рабочий спектральный диапазон не соответствует выбранному ближнему ИК-интервалу (700–1500 нм); необходимость охлаждения делает систему громоздкой и энергозатратной.

4. Фототранзисторы на основе InGaAs (IGT).

Принцип действия основан на биполярных фототранзисторах на основе твердого раствора арсенида галлия-индия, обеспечивающие внутреннее усиление фототока.

Ограничения состоит в том, что преимущественно применяются в качестве приемников, а не источников излучения. Для использования в качестве излучателя требуется иная физическая структура.

5. Горизонтальные фототранзисторы (HPT).

Принцип действия основан на фототранзисторах с латеральной геометрией, оптимизированные для снижения паразитных емкостей и повышения быстродействия.

Ограничения такие же, как и предыдущих двух типов, позиционируются как высококачественные приемные устройства, а не источники излучения. Их применение в качестве излучателей не предусмотрено типовыми конструкциями.

Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы:

По функциональному назначению типы MCT, IGT и HPT ориентированы преимущественно на прием инфракрасного излучения. Их использование в качестве источников сигнала (излучателей) требует нетривиальных схемотехнических решений и не соответствует их основному назначению.

Лазерные фотодиоды (LPD) обладают избыточными для задачи идентификации характеристиками: высокая когерентность и спектральная чистота не являются необходимыми при работе с диффузно отражающими поверхностями (животные, стены). Повышенные требования к термостабилизации и защите от электростатического разряда увеличивают стоимость конечного изделия.

Инфракрасные светодиоды (IR LED) представляют собой наиболее сбалансированное решение [118], поскольку:

- современные NIR-светодиоды, как указывается в технической литературе, работают на длинах волн 850–940 нм, что обеспечивает оптимальное соотношение между чувствительностью приемников и пропусканием атмосферы [275, 293];
- технология производства отработана, что обеспечивает низкую себестоимость как самих излучателей, так и меток на их основе;
- энергопотребление достаточно низкое для реализации автономных меток с длительным сроком службы;
- ширина диаграммы направленности (типично 30–120°) упрощает требования к взаимному расположению метки и приемника [293], снижая критичность юстировки;
- устойчивость к внешним воздействиям (влажность, перепады температур, вибрации) соответствует условиям эксплуатации в животноводческих помещениях.

В таблице 2 приведен сравнительный анализ типов инфракрасных излучателей.

На основе сравнительного анализа технических характеристик и требований, предъявляемых к системе идентификации сельскохозяйственных животных, наиболее предпочтительным типом инфракрасных излучателей являются инфракрасные светодиоды (IR LED). Данный выбор обусловлен оптимальным сочетанием спектрального соответствия, экономической эффективности, эксплуатационной надежности и технологической простоты интеграции в состав универсальной системы идентификации.

Таблица 2 – Сравнительный анализ типов инфракрасных излучателей

Тип излучателя	Спектральный диапазон	Стоимость	Быстродействие	Энергопотребление	Особые требования	Применимость в системе
Инфракрасные светодиоды (IR LED)	700–1500 нм (перекрывает рабочий диапазон)	Низкая	Достаточное (десятки МГц)	Низкое (ед.–десятки мВт)	Отсутствуют	Оптимальный – наилучшее сочетание цены, надежности и спектрального соответствия
Лазерные фотодиоды (LPD)	Узкий, перестраиваемый	Средняя–высокая	Высокое (ГГц)	Среднее	Термостабилизация, защита от ESD	Избыточен — высокая когерентность и спектральная чистота не требуются
Фотодиоды на основе HgCdTe (MCT)	2–20 мкм (средний и дальний ИК)	Высокая	Высокое	Высокое	Глубокое охлаждение (криогенное)	Неприменим — спектральный диапазон не соответствует; предназначен для приема, а не генерации излучения

Продолжение таблицы 2

Тип излучателя	Спектральный диапазон	Стоимость	Быстродействие	Энергопотребление	Особые требования	Применимость в системе
Фототранзисторы на основе InGaAs (IGT)	900–1700 нм	Средняя–высокая	Среднее (ограничено временем пролета)	Среднее (требуют смещения)	—	Неприменим — преимущественно приемное устройство, не излучатель
Горизонтальные фототранзисторы (HPT)	Зависит от материала	Высокая	Высокое	Среднее	Специализированные схемы смещения	Неприменим — позиционируется как высококачественный приемник, не излучатель

2.4 Теоретические основы цифровизации процессов анализа параметров телосложения кур и морфометрических показателей яиц

Цифровизация процессов оценки экстерьерных характеристик кур и морфометрических параметров яиц базируется на фундаментальных закономерностях взаимодействия оптического излучения с биологическими объектами [130]. Формирование достоверного цифрового представления объекта исследования требует учета физических принципов отражения, поглощения и рассеяния света, определяющих информативность получаемых изображений [114, 123].

В основе любой оптической системы регистрации лежит явление отражения электромагнитных волн от поверхности объекта. Для биологических тканей, включая кожные покровы, оперение кур и скорлупу яиц, характерна сложная спектральная зависимость коэффициента отражения, обусловленная наличием пигментов (меланин, каротиноиды), структурными особенностями (микрорельеф, слоистость) и физиологическим состоянием [275, 323].

Коэффициент отражения $R(\lambda)$ определяется как отношение интенсивности отраженного излучения $I_{\text{отр}}(\lambda)$ к интенсивности падающего $I_0(\lambda)$:

$$R(\lambda) = \frac{I_{\text{отр}}(\lambda)}{I_0(\lambda)} \quad (6)$$

Для изотропных поверхностей, каковыми в первом приближении можно считать скорлупу яйца, распределение отраженного излучения подчиняется закону Ламберта, согласно которому яркость поверхности не зависит от угла наблюдения. Однако оперение кур характеризуется анизотропным рассеянием [20, 323], что требует учета бидирекциональной функции отражательной способности (BRDF) при построении систем освещения [230, 247].

Выбор спектрального диапазона регистрации является ключевым фактором, определяющим информативность системы. Для решения задачи анализа параметров телосложения кур и морфометрии яиц могут быть выделены следующие спектральные интервалы, каждый из которых несет специфическую информацию:

1. Видимый диапазон (400–700 нм) – обеспечивает регистрацию морфологических признаков, доступных визуальному наблюдению. В этом диапазоне формируется цветовое представление объекта, что позволяет различать породные признаки, оценивать пигментацию оперения и скорлупы, а также выделять контуры для измерения линейных параметров [151].

2. Ближний инфракрасный диапазон (700–1100 нм) – характеризуется повышенной проникающей способностью. Для скорлупы яйца этот диапазон позволяет визуализировать внутренние структуры (воздушную камеру, желток) и выявлять микротрещины, неразличимые в видимом свете [20]. Для тканей птицы БИК-излучение проникает в подкожные слои, что может быть использовано для оценки состояния мускулатуры [130].

3. Ультрафиолетовый диапазон (300–400 нм) – может применяться для выявления специфических оптических свойств биологических тканей, таких как флуоресценция. Некоторые дефекты скорлупы и патологические изменения кожи птицы проявляются в УФ-диапазоне с повышенным контрастом [20].

Для корректного определения линейных размеров кур и яиц необходимо учитывать геометрию проекционного преобразования. В общем случае преобразование координат точки объекта (X,Y,Z) в координаты изображения (x,y) описывается моделью камеры-обскуры [114]:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} = K[R, t] \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (7)$$

где K – матрица внутренних параметров камеры, включающая фокусное расстояние и координаты главной точки; R и t – матрица поворота и вектор переноса, задающие внешнюю ориентацию камеры [123].

Для устранения искажений, связанных с перспективой, и обеспечения возможности абсолютных измерений необходима калибровка системы. При съемке яиц на контрастном фоне с масштабной линейкой переход от пиксельных координат к абсолютным размерам осуществляется через коэффициент

масштабирования k, определяемый как отношение известного эталонного размера $L_{эт}$ к его размеру в пикселях $l_{эт}$ [130]:

$$k = \frac{L_{эт}}{l_{эт}}. \quad (8)$$

При практической реализации систем цифрового анализа необходимо учитывать ряд физических ограничений:

1. Влияние освещения. Неравномерность освещения приводит к вариациям яркости в пределах одного объекта, что затрудняет пороговую обработку. Для минимизации этого эффекта используются системы с контролируемым освещением (кольцевые светодиодные матрицы, рассеиватели) и алгоритмы коррекции фона [230].

2. Эффекты бликования. Глянцевая поверхность скорлупы и влажные участки кожных покровов создают зеркальные блики, искажающие форму объекта на изображении. Применение поляризационных фильтров и использование диффузного освещения позволяет существенно снизить интенсивность бликов [247].

3. Разрешающая способность. Для измерения мелких параметров (толщина скорлупы, структура оперения) требуется достаточное пространственное разрешение, определяемое теоремой Котельникова (Найквиста). Минимальный размер детали d_{min}, разрешимый системой, связан с разрешением камеры N и полем зрения FOV соотношением [123]:

$$d_{min} = \frac{FOV}{N}. \quad (9)$$

Таким образом, теоретической основой цифровизации процессов анализа параметров телосложения кур и морфометрических показателей яиц является совокупность знаний о закономерностях взаимодействия оптического излучения с биологическими объектами, геометрических принципах формирования изображения и метрологических требованиях к измерениям [114, 130, 151]. Правильный выбор спектральных диапазонов, учет оптических свойств объекта, калибровка измерительной системы и применение методов коррек-

ции искажений позволяют обеспечить достоверность и воспроизводимость результатов цифрового анализа, что создает необходимую базу для последующего применения алгоритмов компьютерного зрения и искусственного интеллекта [20, 230].

2.5 Обоснование технологической применимости искусственного интеллекта

Применение искусственного интеллекта в задачах распознавания экстерьерных характеристик кур и морфометрических параметров яиц базируется на многолетнем успешном опыте использования подобных технологий в смежных областях, где требования к точности, скорости обработки данных и устойчивости алгоритмов к вариативности входных условий уже доказали свою эффективность [225, 229, 250, 263].

Нейронные сети, в частности нейронные сети со сверточной архитектурой, успешно применяются для распознавания лиц в системах видеонаблюдения, что демонстрирует их способность выделять характерные признаки объектов даже в условиях изменяющегося освещения и сложного фона [8, 17, 102].

Этот опыт наглядно подтверждает, что алгоритмы глубокого обучения могут быть адаптированы для анализа изображений птицы и яиц, у которых также присутствует значительное разнообразие внешних характеристик – от породных особенностей оперения до индивидуальных вариаций формы и окраса.

Еще одним успешным примером является применение ИИ в медицинской диагностике, в частности в анализе снимков магнитно-резонансной томографии (МРТ) и компьютерной томографии (КТ). Искусственный интеллект демонстрирует высокую эффективность глубоких нейронных сетей для выявления патологических изменений [267, 284]. Современные алгоритмы, осно-

ванные на сверточных нейронных сетях, обучаются на обширных наборах данных медицинских изображений, что позволяет им обнаруживать тонкие структурные отклонения, которые могут быть незаметны при традиционном визуальном анализе.

Такой междисциплинарный опыт указывает на возможность адаптации аналогичных методик для оценки экстерьера кур и морфометрических показателей яиц. В птицеводстве, как и в медицине, необходимо своевременно выявлять отклонения в развитии и дефекты продукции для предотвращения масштабных убытков и ухудшения качества. Алгоритмы, разработанные для анализа сложных медицинских изображений, могут быть переобучены для работы с визуальными данными птицы и яиц, позволяя обнаруживать ранние изменения в экстерьерных характеристиках кур и внешних дефектах, и морфометрических параметрах яиц.

Применение ИИ в системах автономного вождения демонстрирует, что современные методы могут эффективно справляться с задачами детекции объектов в режиме реального времени даже при наличии многомодальных данных. В системах автономного транспорта данные с видеокамер, лидаров и радаров интегрируются для получения точной пространственной информации об окружающей среде. Алгоритмы глубокого обучения, в частности сверточные нейронные сети, обучаются на обширных выборках данных, что позволяет им надежно распознавать объекты в условиях динамически меняющейся обстановки.

Аналогичные принципы могут быть применены для мониторинга состояния птицы и контроля качества яиц. Как и в автономном вождении, задача оценки в птицеводстве требует интеграции информации с различных сенсоров – видеокамер, тепловизоров, специализированных систем освещения – для своевременного обнаружения изменений в поведении, экстерьере или морфометрических параметрах. Многоканальный анализ данных позволяет системе корректно интерпретировать поступающую информацию даже в условиях сложного фона или изменяющейся окружающей среды.

Применение искусственного интеллекта в промышленном контроле качества является ярким примером высокотехнологичного подхода к обнаружению микроскопических дефектов в производственных процессах. Современные системы визуального контроля, основанные на алгоритмах глубокого обучения, обучаются на обширных выборках изображений, что позволяет им распознавать даже минимальные отклонения от стандартных параметров [165]. Анализ изображений осуществляется с использованием методов компьютерного зрения, позволяющих выделять аномалии в текстуре, форме или цветовой гамме объектов, что существенно повышает точность детекции и обеспечивает надежное качество контроля.

Подобные методики находят прямое отражение в задаче оценки качества яиц и экстерьера птицы. Как и в промышленном контроле качества, раннее выявление незначительных отклонений от нормы может свидетельствовать о проблемах в кормлении, содержании или здоровье птицы. Адаптация методов детекции, успешно применяемых в производстве, к птицеводству позволяет автоматизировать процессы наблюдения и анализа данных, получаемых с камер наблюдения.

Интеграция технологий искусственного интеллекта в процессы оценки экстерьера кур и морфометрии яиц обеспечивает следующие преимущества:

1. Автоматизация измерений – исключение ручного труда при проведении массовых измерений, что особенно актуально для крупных птицефабрик с поголовьем в десятки и сотни тысяч особей.

2. Объективность и воспроизводимость – устранение субъективного фактора, неизбежного при визуальной оценке, и обеспечение повторяемости результатов независимо от квалификации оператора.

3. Высокая пропускная способность – возможность обработки тысяч изображений в час, что позволяет осуществлять сплошной мониторинг, а не выборочный контроль.

4. Раннее выявление отклонений – способность алгоритмов улавливать тонкие изменения экстерьерных признаков и морфометрических параметров, которые могут быть первыми индикаторами заболеваний или нарушений условий содержания.

5. Масштабируемость – возможность адаптации обученных моделей к различным породам кур и типам продукции без фундаментальной перестройки системы.

Для решения задач распознавания экстерьера кур и параметров яиц наиболее перспективными являются следующие архитектуры глубоких нейронных сетей:

Сверточные нейронные сети (CNN) – классические архитектуры, эффективные для извлечения пространственных признаков из изображений [234, 264]. В задачах классификации пород, оценки кондиции и выявления дефектов хорошо зарекомендовали себя сети семейства ResNet, EfficientNet и Inception.

Архитектуры для детекции объектов – модели семейства YOLO (You Only Look Once) и Faster R-CNN обеспечивают локализацию объектов на изображении [324], что необходимо для выделения отдельных особей в групповых снимках и для точного позиционирования яиц на конвейерной линии [223].

Архитектуры для сегментации – модели Mask R-CNN и U-Net позволяют выделять точные контуры тела птицы и формы яйца [312], что критически важно для измерения линейных параметров и оценки площади поверхности.

Трансформерные модели – современные архитектуры на основе механизма внимания (Vision Transformer, Swin Transformer) демонстрируют высокую точность при работе с изображениями высокой четкости и способны учитывать глобальный контекст [248, 302], что может быть полезно при оценке пропорций телосложения.

Для успешного применения искусственного интеллекта в задачах распознавания экстерьера кур и параметров яиц необходимо обеспечить:

1. Формирование репрезентативного датасета – сбор и аннотация изображений, охватывающих различные породы, возрастные группы, условия

освещения и ракурсы съемки. Датасет должен включать размеченные изображения с указанием границ объектов, ключевых точек и классификационных признаков [144].

2. Аугментацию данных – применение преобразований (повороты, масштабирование, изменение яркости, добавление шума) для расширения обучающей выборки и повышения устойчивости модели к вариативности входных данных [312].

3. Выбор функций потерь – для задач регрессии (измерение линейных параметров) целесообразно использование комбинированных функций потерь, учитывающих как точность локализации, так и корректность классификации [121, 277].

4. Дистилляцию моделей – для внедрения в промышленную эксплуатацию, где вычислительные ресурсы могут быть ограничены, применяются методы дистилляции, позволяющие уменьшить размер модели без существенной потери точности [290].

Таким образом, широкий спектр успешных примеров применения искусственного интеллекта в таких областях, как системы видеонаблюдения, медицинская диагностика, автономное вождение и промышленный контроль качества, подтверждает его высокую технологическую применимость для распознавания экстерьера кур и параметров яиц. Эти примеры демонстрируют, что современные алгоритмы способны работать с разнообразными, динамичными и часто зашумленными данными, обеспечивая высокую точность, скорость обработки и адаптивность к различным условиям.

Научный и практический опыт из смежных сфер служит прочной базой для уверенного внедрения технологий искусственного интеллекта в птицеводство, что позволяет эффективно решать задачи оценки экстерьера, морфометрии, контроля качества продукции и управления стадом в современных условиях промышленного производства.

2.6 Методология сбора обучающего датасета для обучения моделей искусственного интеллекта

Задача сбора датасета для обучения нейронных сетей нацелена на создание репрезентативной выборки изображений и сопутствующих метаданных, позволяющей повысить точность детектирования объектов, классификации их состояний и измерения морфометрических параметров с применением алгоритмов компьютерного зрения. В рамках настоящего исследования формирование датасета осуществляется по пяти ключевым направлениям: оценка экстерьера кур, морфометрия яиц, выявление дефектов скорлупы, определение оплодотворенности и прогнозирование пола эмбриона по морфометрическим характеристикам яйца.

Формируемый датасет представляет собой многоуровневую структуру, включающую следующие компоненты:

1. Изображения кур для оценки экстерьерных характеристик:

- фотофиксация в двух проекциях (боковая, вид сверху);
- различные возрастные группы (цыплята, молодки, взрослые несушки);
- разные группы кроссов;
- варьируемые условия съемки (освещенность, фон, расстояние до объекта).

2. Изображения яиц для морфометрии и оценки качества:

- фотофиксация яиц (вид сверху);
- яйца на контрастном фоне с масштабной линейкой;
- яйца с различными характеристиками скорлупы (цвет, текстура, толщина).

3. Изображения яиц с дефектами скорлупы:

- трещины различной степени (волосяные, сквозные, сетчатые);
- насечки и вмятины;
- пигментные аномалии (обесцвечивание - мраморность).

4. Изображения яиц для определения оплодотворенности и прогнозирования пола эмбриона:

- изображения в проходящем свете;

- изображения в отраженном свете с различными спектральными характеристиками;

- данные яйца с известным полом вылупившегося цыпленка;

- морфометрические параметры яиц (длина продольной оси, длина поперечной оси в самом выпуклом месте, угол острого конца яйца, индекс формы и расчетные показатели: площадь продольного сечения, площадь поперечного сечения, объем яйца).

Процесс сбора изображений кур организован с учетом специфических требований для обучения детекционных и сегментационных моделей. Съемка проводится в условиях, приближенных к производственным, с использованием стандартизированного оборудования.

Оборудование для съемки:

- цифровая камера с разрешением не менее 20 Мп;

- система контролируемого освещения (кольцевые светодиодные матрицы, рассеиватели);

- калибровочные маркеры для определения масштаба;

- фон с контролируемым цветом (серый, синий, зеленый) для повышения контрастности.

Протокол съемки:

- фиксация птицы в стандартизированном положении (при необходимости с использованием временной фиксации для снижения стресса);

- фотофиксация в двух проекциях с обеспечением постоянного расстояния до объекта.

- контроль освещенности на уровне 500–1000 лк с равномерностью не менее 80%.

- включение в кадр калибровочного маркера известного размера (перспектрометра) для последующей калибровки измерений.

Аннотация изображений кур выполняется с использованием специализированных инструментов, преимущественно CVAT (Computer Vision Annotation Tool). Для каждого изображения производится:

- разметка ограничивающих рамок (bounding boxes) для локализации птицы в кадре;

- сегментация контуров (polygon segmentation) для точного выделения формы тела;

- разметка ключевых точек (keypoints) для измерения линейных параметров: плюсна; седалищный бугор; киль; так; грудная клетка.

Метаданные изображений включают:

- порода, возраст, пол;

- дата и время съемки;

- условия освещения;

- расстояние до объекта;

- измеренные вручную экстерьерные параметры (эталонные значения).

Сбор изображений яиц осуществляется в контролируемых условиях с обеспечением стандартизации масштаба и освещения.

Оборудование для съемки:

- цифровая камера с макрообъективом или специализированная установка с фиксированным положением;

- предметный столик с контрастным фоном;

- масштабная линейка в кадре;

- овоскоп для просвечивания;

- источники света с регулируемой цветовой температурой (2700–6500 К).

Протокол съемки:

- размещение яйца на предметном столике в стандартизированной ориентации (продольная ось горизонтально);

- фотофиксация в трех ракурсах (вид сверху, вид с торца, вид в профиль);

- съемка на просвет (овоскопия) с фиксацией положения воздушной камеры и желтка;

- съемка в различных спектральных диапазонах при необходимости.

Аннотация изображений яиц включает:

- сегментацию контура яйца для определения границ;

- разметку ключевых точек для измерения линейных параметров:

- тупой конец;

- острый конец;

- точки максимальной ширины;

- разметку дефектов скорлупы:

- тип дефекта (трещина, насечка, нарост, крапчатость);

- локализация дефекта (тупой конец, острый конец, экваториальная зона);

- геометрические характеристики (длина, ширина, площадь дефекта);

- разметку внутренних структур (для овоскопических снимков):

- положение и размер воздушной камеры;

- положение и подвижность желтка;

- наличие кровеносных сосудов (признак оплодотворенности).

Классификационные метки для яиц:

- оплодотворенность (оплодотворено / не оплодотворено);

- пол эмбриона (петушок / курочка) — для яиц с известным исходом инкубации;

- целостность скордупы (без повреждений / с повреждениями).

Для построения модели прогнозирования пола цыпленка по морфометрическим характеристикам яйца формируется специализированный датасет, включающий яйца с последующей верификацией пола вылупившегося молодняка.

Протокол сбора:

1. Маркировка каждого яйца уникальным идентификатором перед закладкой в инкубатор.

2. Фотофиксация яйца в стандартизированных условиях с масштабной линейкой.

3. Измерение линейных параметров яйца (длина, ширина, полуоси) с помощью цифровой обработки.

4. Вычисление производных морфометрических показателей: большой диаметр, малый диаметр, площадь продольного сечения, площадь поперечного сечения, объем яйца, угол острого конца яйца, индекс формы яйца.

5. Инкубация яиц в стандартных условиях.

6. Фиксация пола вылупившегося цыпленка (визуальная оценка, гендерная маркировка).

7. Формирование обучающей выборки с метками пола.

Для обеспечения достоверности и репрезентативности датасета реализуются следующие процедуры контроля качества:

1. Контроль условий съемки – стандартизация освещения, фона, расстояния до объекта для минимизации вариативности, не связанной с биологическими параметрами.

2. Многократная аннотация – каждый объект размечается не менее чем двумя независимыми операторами с последующим согласованием расхождений.

3. Валидация эталонных измерений – ручные измерения экстерьерных параметров и морфометрических характеристик выполняются с использованием поверенных инструментов (штангенциркуль, линейка, весы) с фиксацией погрешности.

4. Стратификация выборки – обеспечение репрезентативности по генетическим группам (кросс), возрастным группам (ремонтный молодняк, курицы-несушки).

5. Аугментация данных – расширение датасета путем применения преобразований (повороты, масштабирование, изменение яркости, добавление шума) для повышения устойчивости моделей к вариативности входных данных.

Для высокоточной ручной и автоматизированной аннотации используются следующие инструменты, указанные в таблице 3:

Таблица 3 – Инструменты для ручной и автоматизированной аннотации изображений

Инструмент	Назначение	Преимущества
CVAT (Computer Vision Annotation Tool)	Ручная и полуавтоматическая разметка изображений	Поддержка bounding boxes, polygons, keypoints; возможность совместной работы; экспорт в распространенные форматы (COCO, YOLO, Pascal VOC)
LabelImg	Разметка bounding boxes	Простота использования, быстрая разметка для детекционных задач
Supervisely	Комплексная аннотация и управление датасетами	Встроенные инструменты сегментации, автоматическая разметка с использованием предобученных моделей
Яндекс Толока (или аналоги)	Краудсорсинговая разметка	Масштабирование процесса аннотации, предварительная разметка больших объемов данных

В рамках реализованной методологии формируется датасет, структура которого представлена в таблице 4.

Разработанная методология сбора, обучающего датасета обеспечивает формирование репрезентативной выборки для решения широкого спектра задач в области цифровизации птицеводства:

1. Оценка экстерьера кур – позволяет обучать модели сегментации и измерения линейных параметров, что необходимо для селекционно-племенной работы и контроля кондиции птицы.

2. Морфометрия яиц - обеспечивает автоматизацию измерения длины, ширины, индекса формы и объема яиц, что важно для сортировки и оценки качества.

3. Выявление дефектов скорлупы – позволяет автоматически отбраковывать яйца с трещинами, насечками и другими дефектами, снижая потери при инкубации и транспортировке.

Таблица 4 – Структура обучающего датасета

Категория данных	Тип объектов	Количество единиц (не менее)	Тип аннотации
Экстерьер ремонтного молодняка и кур-несушек	Изображения кур	500 + 500	Bounding boxes, polygons, keypoints
Морфометрия яиц	Изображения яиц	1000	Bounding boxes, polygons, keypoints
Дефекты скорлупы	Изображения яиц с дефектами	100	Классификация, локализация дефектов
Оплодотворенность	Овоскопические снимки	1000	Классификация (оплодотворено / не оплодотворено)
Прогноз пола	Изображения яиц + метки пола	1000	Классификация (петушок / курочка) + морфометрические параметры
Итого		1000 (яиц) 500 (кур) 500 (ремонтный молодняк)	

4. Определение оплодотворенности – дает возможность раннего выявления неоплодотворенных яиц и оптимизации загрузки инкубатора.

5. Прогноз пола цыпленка – открывает перспективы для раннего разделения яиц по полу, что особенно актуально для яичного птицеводства (отбраковка петушков) и мясного (раздельное выращивание).

Систематизированный процесс аннотации с использованием современных инструментов в сочетании с детальной разметкой ключевых точек, контуров и классификационных признаков создает основу для дальнейшего обучения моделей искусственного интеллекта, направленных на повышение эффективности мониторинга и управления птицеводческими предприятиями.

2.7 Методика обучения модели искусственного обучения в задаче получения изображений в птицеводстве

Подход к обучению моделей искусственного интеллекта разработан с целью повышения эффективности обработки визуальных данных в задачах оценки экстерьера кур, морфометрии яиц, выявления дефектов скорлупы, определения оплодотворенности и прогнозирования пола цыпленка. Основное внимание уделено аспектам обучения: структурированному разделению датасета, подбору гиперпараметров, выбору оптимизатора, методике аугментации и особенностям вычислительного процесса.

На первоначальном этапе обучения датасет разделен на три непересекающиеся выборки: обучающую, валидационную и тестовую. При этом обучающая выборка составляет основной объем данных, обеспечивая репрезентативное покрытие всех классов объектов, что позволяет модели изучить широкий спектр визуальных особенностей. Валидационная выборка используется для мониторинга динамики изменения метрик качества в процессе обучения и корректировки гиперпараметров, а тестовая выборка, оставленная без вмешательства до окончательной фазы обучения, служит для независимой оценки результатов модели. Такой подход позволяет минимизировать риск переобучения, а также обеспечить объективность оценки эффективности детекции и классификации.

Рекомендуемое распределение:

- обучающая выборка — 70–80% от общего объема;
- валидационная выборка — 10–15%;

- тестовая выборка — 10–15%.

Для задач с несбалансированными классами (например, редко встречающиеся дефекты скорлупы или низкий процент оплодотворенности) применяются методы балансировки:

- стратифицированное разделение для сохранения пропорций классов;

- oversampling (увеличение представленности редких классов);

- использование весов классов в функции потерь.

Для решения комплекса задач в птицеводстве (детекция, сегментация, классификация, регрессия) выбор архитектуры модели осуществляется с учетом специфики каждой подзадачи.

Для детекции и локализации объектов (выделение птицы в кадре, локализация яйца):

- YOLO11 (You Only Look Once) — одноэтапная архитектура, обеспечивающая высокую скорость обработки (до 30–60 кадров/с) при разрешении 1280×720 пикселей, что критически важно для работы в реальном времени на производственной линии.

- Faster R-CNN — двухэтапная архитектура, обеспечивающая более высокую точность локализации при работе со сложными сценами (групповые изображения птицы, наложение объектов).

Для сегментации контуров (выделение формы тела птицы, контура яйца, границ дефектов):

- Mask R-CNN – архитектура, объединяющая детекцию и сегментацию, позволяющая получать точные контуры объектов;

- U-Net – архитектура, зарекомендовавшая себя в задачах биомедицинской сегментации, эффективна для выделения границ дефектов и внутренних структур на овоскопических снимках.

Для классификации (определение дефектов, оплодотворенности, пола):

- EfficientNet – семейство архитектур, обеспечивающих оптимальный баланс между точностью и вычислительной эффективностью;

- ResNet – классическая архитектура с остаточными связями, обеспечивающая устойчивое обучение глубоких сетей.

Для регрессионных задач (измерение линейных параметров):

- архитектуры на основе сверточных нейронных сетей с выходным слоем, содержащим линейные комбинации признаков для предсказания длины, ширины, индекса формы и других непрерывных величин.

Выбор гиперпараметров является одним из ключевых этапов методологии обучения. В процессе первичного эксперимента проводится настройка таких параметров, как скорость обучения, размер батча, коэффициенты регуляризации и параметры слоев нейронной сети (таблица 5).

Для оптимизации процесса используется итеративный цикл, при котором изменения гиперпараметров отслеживаются через динамику значений функции потерь и метрик качества на валидационной выборке. Это позволяет своевременно корректировать стратегию обучения, выбирая те комбинации, которые способствуют более стабильной сходимости модели и улучшению результатов на тестовой выборке.

Таблица 5 - Основные гиперпараметры

Параметр	Диапазон настройки	Рекомендуемое значение
Скорость обучения (learning rate)	$10^{-5} - 10^{-2}$	10^{-3} (начальная), с расписанием уменьшения
Размер батча (batch size)	8 – 64	32 (при использовании GPU с 8–16 ГБ памяти)
Количество эпох (epochs)	50 – 300	150 (с ранней остановкой)
Коэффициент регуляризации L2	$10^{-6} - 10^{-4}$	10^{-5}
Dropout	0,2 – 0,5	0,3 (для полносвязных слоев)

AdamW – наиболее эффективный оптимизатор, сочетающий быструю сходимость и устойчивость к шумам. Его использование обеспечивает быстрое снижение функции потерь на ранних этапах обучения, а также стабильность на поздних, когда модель приближается к оптимальному решению.

Параметры оптимизатора AdamW:

- скорость обучения $\eta=10^{-3}$;
- моментумы $\beta_1=0{,}9$, $\beta_2=0{,}999$;
- коэффициент коррекции весов $\lambda=10^{-5}$.

Альтернативные оптимизаторы, рассматриваемые при необходимости:

- SGD with momentum – может обеспечить лучшую обобщающую способность при больших объемах данных;

- RMSprop – эффективен для задач с нестационарными градиентами.

Ключевую роль в повышении обобщающей способности модели и снижении риска переобучения играет стратегия аугментации данных. Применяются различные преобразования изображений с учетом специфики объектов птицеводства.

- случайные повороты (от -15° до +15° для яиц, от -30° до +30° для изображений птицы);

- отражения по горизонтали (допустимо для птицы, недопустимо для яиц, так как нарушает асимметрию);

- масштабирование (0,8–1,2 от исходного размера);

- сдвиги по осям (до 10% от размера изображения).

- изменение яркости (коэффициент 0,7–1,3);

- изменение контрастности (коэффициент 0,8–1,2);

- изменение насыщенности (коэффициент 0,8–1,2);

- добавление гауссовского шума ($\sigma=0{,}01–0{,}05\sigma=0{,}01–0{,}05$);

- размытие (гауссово размытие с ядром 3×3).

Специализированные преобразования для яиц:

- имитация различных условий освещения при овоскопии;

- добавление артефактов, имитирующих загрязнения скорлупы;

- сохранение пропорций при масштабировании для корректного измерения линейных параметров.

При этом учитываются специфические особенности изображений: для яиц важно сохранить асимметрию формы, для птицы – ключевые анатомические ориентиры при трансформациях.

Обучение моделей проводится на вычислительных ресурсах, обеспечивающих достаточную производительность для обработки больших объемов данных.

Рекомендуемая конфигурация:

- GPU: NVIDIA A100 (40–80 ГБ) или NVIDIA RTX 4090 (24 ГБ);
- CPU: не менее 8 ядер;
- ОЗУ: 32–64 ГБ;
- Накопитель: SSD NVMe для ускорения загрузки данных.

Программное обеспечение:

- операционная система: Ubuntu 22.04 LTS;
- фреймворки глубокого обучения: PyTorch, TensorFlow;
- библиотеки: OpenCV, NumPy, Albumentations (для аугментации), MLflow (для отслеживания экспериментов).

Использование распределенного подхода обеспечивает гибкость при тестировании различных гиперпараметров и аугментационных схем.

Процесс обучения сопровождается постоянным мониторингом метрик, включая функцию потерь, точность (Precision), полноту (Recall), F1-меру, среднюю точность (mAP) и среднюю абсолютную ошибку (MAE) для регрессионных задач (таблица 6).

Непрерывный анализ этих показателей позволяет оперативно корректировать стратегию обучения, вносить изменения в параметры оптимизатора и улучшать подходы к аугментации. Такой подход обеспечивает высокую стабильность и позволяет своевременно выявлять и устранять возможные проблемы, такие как переобучение или затухание градиентов.

Таблица 6 - Отслеживаемые метрики

Тип задачи	Метрики
Детекция	Precision, Recall, F1, mAP@0.5, mAP@0.5:0.95
Сегментация	IoU (Intersection over Union), Dice coefficient
Классификация	Accuracy, Precision, Recall, F1, AUC-ROC
Регрессия (линейные параметры)	MAE, RMSE, R^2

Для обучения модели оценки экстерьера кур используется комбинированный подход, объединяющий задачи детекции, сегментации и регрессии.

1. Детекция птицы – обучение модели YOLO11 для локализации птицы в кадре с высокой точностью (IoU > 0,85).

2. Сегментация контура – обучение Mask R-CNN для выделения контура тела птицы, что необходимо для определения типа телосложения.

3. Регрессия ключевых точек – обучение модели для локализации анатомических ориентиров (туловище, киль, таз, плюсна) с использованием функции потерь на основе среднеквадратичного отклонения (MSE) между предсказанными и эталонными координатами.

4. Вычисление экстерьерных параметров – на основе полученных величин между ключевыми точками и контуров рассчитываются линейные параметры (длина туловища, ширина груди, ширина таза, длина киля, длина плюсны).

Обучение модели для измерения морфометрических параметров яиц ориентировано на высокую точность линейных измерений.

1. Сегментация контура яйца – обучение U-Net или Mask R-CNN для выделения точного контура яйца.

2. Определение продольной оси – вычисление главной оси инерции контура.

3. Измерение линейных параметров – определение длины (максимальный размер по продольной оси) и ширины (максимальный размер в поперечной плоскости).

4. Расчет производных параметров – площадь поперечного и продольного сечений, индекс формы и объем яйца.

Функция потерь включает штраф за ошибки измерения, особенно для длины и ширины, которые критически важны для сортировки и прогнозирования пола.

Для выявления дефектов скорлупы используется подход, сочетающий детекцию и классификацию.

1. Детекция дефектов – обучение модели YOLO11 для локализации зон с дефектами на поверхности яйца.

2. Классификация дефектов – обучение классификатора (EfficientNet) для определения типа дефекта (трещина, насечка, вмятина, нарост, крапчатость, мраморность, «пояс»).

3. Оценка критичности – дополнительный классификатор для определения, является ли дефект критическим (сквозная трещина, повреждение скорлупы) или незначительным (пигментация, шероховатость).

Для повышения чувствительности к мелким дефектам (волосяные трещины) применяется обучение на изображениях с высоким разрешением и использование специализированной аугментации, имитирующей различные условия освещения.

Для определения оплодотворенности яиц используется классификация овоскопических снимков.

1. Предобработка изображений – нормализация яркости и контрастности, устранение артефактов освещения.

2. Классификация – обучение EfficientNet или ResNet для бинарной классификации (оплодотворено / не оплодотворено).

3. Временная динамика – для повышения точности может использоваться анализ серии снимков на разных стадиях инкубации (1–7 сутки) с применением рекуррентных нейронных сетей (LSTM) для учета временной эволюции признаков.

Признаки оплодотворенности:

- жизнедеятельность зародышевого диска определяется по колебаниям объема воздушной камеры яйца;

- бластодиск совершает механические колебания. Эти колебания передаются слоям яйца, окружающим бластодиск, и приводят к колебаниям подскорлупной оболочки;

- изменения объема воздушной камеры во времени

- наличие кровеносных сосудов на ранних стадиях («паучок»);

- наличие и развитие эмбриона;

- изменение положения и подвижности желтка.

Для прогнозирования пола цыпленка по форме яйца используется подход, основанный на анализе морфометрических параметров.

1. Извлечение морфометрических признаков – на основе сегментированного контура яйца вычисляются: продольный диаметр яйца и поперечный диаметр в самом широком месте, угол острого конца яйца, индекс формы.

2. Классификация – обучение классификатора (многослойный перцептрон, SVM, XGBoost или легкая нейронная сеть) для бинарной классификации (петушок / курочка) на основе извлеченных признаков.

3. Совместное обучение с визуальными признаками – для повышения точности может использоваться подход, объединяющий морфометрические параметры с признаками, извлеченными из изображения с помощью сверточной нейронной сети.

Ожидаемая точность прогнозирования пола по морфометрическим параметрам по данным современных исследований составляет 70–85% в зависимости от породы и условий инкубации [224, 282, 297].

Предложенная методика обучения модели для задачи обработки изображений в птицеводстве отличается системностью и вниманием к деталям. Она включает:

1. Корректное разбиение данных – стратифицированное разделение на обучающую, валидационную и тестовую выборки.
2. Выбор архитектур – обоснованный выбор архитектур (YOLO11, Mask R-CNN, U-Net, EfficientNet, ResNet) в зависимости от решаемой подзадачи.
3. Подбор гиперпараметров – итеративная настройка скорости обучения, размера батча и регуляризации.
4. Использование адаптивного оптимизатора – AdamW, обеспечивающий быструю и стабильную сходимость.
5. Продуманную схему аугментации – геометрические и фотометрические преобразования с учетом специфики объектов (птица, яйцо).
6. Мониторинг процесса обучения – непрерывный анализ метрик качества с возможностью ранней остановки.
7. Специализированные подходы – адаптация методики под каждую конкретную задачу (оценка экстерьера, морфометрия, выявление дефектов, определение оплодотворенности, прогноз пола).

Реализация обучения на вычислительных ресурсах с использованием GPU NVIDIA A100 и фреймворков PyTorch/TensorFlow позволяет обрабатывать большие объемы данных параллельно и значительно ускорить весь процесс обучения. Разработанная методика создает основу для создания высокоточных и производительных моделей искусственного интеллекта, пригодных для внедрения в промышленное птицеводство.

2.8 Исследование совместимости результатов модели искусственного интеллекта и визуального распознавания

Современные технологии, такие как искусственный интеллект и компьютерное зрение, открывают новые перспективы для автоматизации и повышения эффективности в птицеводстве. Однако их интеграция требует анализа совместимости и согласованности работы. В данном разделе рассматриваются ключевые аспекты сочетания визуального распознавания с моделями ИИ, а также выделяются преимущества и ограничения такого подхода применительно к пяти основным задачам: оценка экстерьера кур, морфометрия яиц, выявление дефектов скорлупы, определение оплодотворенности и прогноз пола будущего цыпленка.

Системы визуального распознавания на основе камер предоставляют данные об экстерьерных признаках птицы, геометрических параметрах яиц, целостности скорлупы, наличии эмбриона и половых характеристиках в реальном времени, которые могут служить входными параметрами для моделей ИИ. Основные аспекты совместимости включают:

–оптические устройства (камеры, овоскопы) фиксируют изображения кур и яиц, обеспечивая непрерывный поток визуальной информации для последующего анализа;

– модели ИИ анализируют поступающие изображения, выделяют ключевые признаки (экстерьерные характеристики кур, параметры яйца, наличие трещин, развитие эмбриона), выявляют закономерности и аномалии;

– на основе анализа ИИ может автоматически вырабатывать рекомендации – например, по отбраковке яиц, сортировке по полу, выбраковке птицы с неудовлетворительным экстерьером.

Интеграция визуального распознавания с ИИ открывает возможности для глубокой автоматизации и интеллектуального управления птицефабриками. Ниже приведены ключевые преимущества такого подхода.

– совместное применение компьютерного зрения и ИИ позволяет автоматизировать оценку экстерьера, сортировку яиц по размеру и форме, детекцию дефектов, овоскопию и определение пола, существенно снижая потребность в ручном труде квалифицированных экспертов;

– ИИ способен рассчитывать оптимальные режимы инкубации, основываясь на данных о морфометрии яиц и оплодотворенности, что позволяет повысить процент вывода и эффективно расходовать инкубационные мощности;

– благодаря повышенной точности и объективности контроля, автоматизация способствует увеличению выхода здорового молодняка и улучшению племенных качеств стада.

Предложенный подход обладает высокой точностью и надёжностью:

– компьютерное зрение обеспечивает стандартизированную оценку телосложения птицы, исключая субъективизм разных экспертов, что критически важно для селекционной работы;

– автоматическое измерение геометрических параметров яиц обеспечивает точность до долей миллиметра, недостижимую при ручном измерении;

– ИИ выявляет микротрещины, известковые наросты и внутренние включения с чувствительностью, превосходящей возможности человеческого глаза при традиционной овоскопии;

– исключение человеческого фактора при анализе овоскопических признаков повышает точность отбора яиц для инкубации;

– ИИ позволяет определять пол эмбриона до вылупления, что особенно ценно для яичных кроссов, где петушки подлежат утилизации.

Подход отлично подходит для раннего выявления проблем и профилактики, а именно:

–изменения в развитии эмбриона, зафиксированные на последовательных овоскопических снимках, могут быть проанализированы ИИ как симптом патологии, что позволяет своевременно скорректировать режимы инкубации;

– ИИ может выявлять визуальные признаки заболеваний птицы на ранних стадиях и сигнализировать о необходимости изоляции;

– система обеспечивает постоянный контроль морфометрических параметров яиц каждой несушки, а ИИ прогнозирует выводимость и оценивает возможные риски снижения инкубационных качеств.

А также для цифровизации и интеллектуализации птицефабрик:

– создание цифровых профилей каждой курицы (экстерьерные оценки) и каждой партии яиц (морфометрия, дефекты, оплодотворенность, пол) способствует переходу от традиционного управления к цифровому;

– ИИ не только фиксирует данные, но и предлагает решения по отбору птицы в племенное ядро, выбраковке, сортировке яиц и корректировке режимов инкубации;

– совмещение визуального распознавания с IoT-датчиками (температура, влажность в инкубаторе) и Big Data позволяет строить комплексные системы «умного птицеводства».

К перспективным направлениям применения следует отнести:

– автоматизированная оценка экстерьера кур для формирования высокопродуктивного родительского стада;

– предынкубационная сортировка яиц по морфометрическим параметрам, динамическая овоскопия и недиструктивный прогноз пола;

– автоматическая детекция дефектов яиц на конвейерных линиях сортировки с отбраковкой трещин и кровяных включений.

Несмотря на перспективность, внедрение визуального распознавания в сочетании с ИИ сопровождается рядом вызовов. Однако большинство из них могут быть успешно преодолены с помощью современных решений.

Сложность интеграции:

– *Проблема*: интеграция требует технической настройки систем видеозахвата (освещение, ракурсы, разрешение камер), разработки специализированного программного обеспечения и обучения персонала.

– *Решение*: использование облачных платформ и готовых модульных решений (например, API для распознавания объектов) упрощает процесс внедрения. Техническая поддержка от разработчиков позволяет адаптировать систему под конкретные условия птицефабрики.

Зависимость от качества данных:

– *Проблема*: эффективность моделей ИИ напрямую зависит от качества и репрезентативности обучающих выборок (изображений кур и яиц). Плохое качество исходных данных (недостаточное разрешение, неравномерное освещение, зашумленность) может привести к ошибкам в анализе и принятии решений.

– *Решение*: для улучшения качества данных можно использовать методы предварительной обработки, такие как фильтрация шумов, нормализация освещения и аугментация изображений. Кроме того, современные камеры оснащены датчиками высокого разрешения и системами автоматической фокусировки, что минимизирует ошибки при сборе данных.

Высокая стоимость внедрения:

– *Проблема*: разработка и внедрение систем, сочетающих визуальное распознавание и ИИ, могут быть дорогостоящими, особенно для небольших птицеводческих хозяйств.

– *Решение*: стоимость внедрения можно снизить за счет использования облачных решений, которые не требуют значительных первоначальных инвестиций в вычислительное оборудование. Кроме того, государственные программы поддержки и субсидии могут помочь сельскохозяйственным предприятиям покрыть часть затрат.

Необходимость технической инфраструктуры:

– *Проблема*: для работы таких систем требуется наличие надёжной технической инфраструктуры, включая вычислительные ресурсы (GPU для обучения нейросетей) и сети передачи данных.

– *Решение*: развитие облачных технологий и IoT позволяет использовать удалённые серверы для обработки данных (включая предобученные модели),

что снижает потребность в локальной инфраструктуре. Современные сети, такие как 5G и оптоволокно, обеспечивают высокую скорость передачи видеоизображений даже в удалённых районах.

Обучение персонала:

– *Проблема*: для работы с системами визуального распознавания и ИИ требуется обученный персонал, что может быть затруднительно для небольших хозяйств.

– *Решение*: многие компании-разработчики предлагают обучающие программы и курсы для сотрудников птицефабрик. Кроме того, современные системы имеют интуитивно понятный интерфейс, что упрощает их использование даже для неподготовленных пользователей.

Чувствительность к условиям съёмки:

– *Проблема*: качество визуального распознавания может быть снижено при наличии препятствий (грязь на объективе, помёт на скорлупе), неравномерном освещении или неоптимальных ракурсах съёмки.

– *Решение*: современные алгоритмы компьютерного зрения, включая методы глубокого обучения, устойчивы к умеренным искажениям. Использование нескольких камер и алгоритмов коррекции изображения позволяет улучшить качество распознавания даже в сложных условиях эксплуатации.

Таким образом, совмещение визуального распознавания (экспертной оценки) и искусственного интеллекта представляет собой современный и перспективный подход, который может значительно повысить эффективность, автоматизацию и цифровизацию процессов в птицеводстве. Преимущества такого сочетания включают полную автоматизацию оценки экстерьера, морфометрии яиц, детекции дефектов, овоскопии и определения пола, высокую точность и объективность, раннее выявление проблем, а также цифровизацию и интеллектуализацию птицефабрик. Примеры успешного применения в племенных репродукторах, инкубаториях и на яичных фабриках показывают, что этот подход уже сегодня приносит значительные результаты [18, 29, 30]. В будущем развитие технологий компьютерного зрения и ИИ может привести к

созданию полностью автономных птицеводческих предприятий, где все процессы управления стадом и инкубацией осуществляются с помощью интеллектуальных систем.

2.9 Выводы по главе 2

В данной главе были проведены всесторонние теоретические исследования, направленные на обоснование технологической применимости методов компьютерного зрения и искусственного интеллекта для автоматизации процессов оценки экстерьера кур, морфометрии яиц, выявления дефектов скорлупы, определения оплодотворенности и прогноза пола эмбриона в промышленном птицеводстве.

1. Анализ генотипических и паратипических факторов показал, 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). Установлено, что с увеличением возраста кур-несушек масса яйца возрастает (на 11,3% с 42-й по 80-ю неделю яйцекладки), при этом относительное содержание белка снижается с 61,0% до 57,9%, а доля желтка увеличивается с 25,9% до 26,7%. Выявлена высокая корреляционная связь между массой яйца и массой суточного цыпленка, что подтверждает необходимость прецизионного контроля морфометрических параметров на предынкубационном этапе.

2. Исследование факторов, влияющих на инкубацию, позволило установить, 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.

3. 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 (IR LED, лазерные фотодиоды, MCT, InGaAs, HPT) обоснован выбор инфракрасных светодиодов как наиболее сбалансированного решения по критериям стоимости, надежности, энергопотребления и спектрального соответствия.

4. 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.

5. 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.

6. Разработана методология сбора обучающего датасет, 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 (длина, ширина, индекс формы, объем, угол острого конца) и последующую верификацию пола вылупившегося цыпленка.

7. 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 (β_1=0,9, β_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.

8. Подход обеспечивает высокую согласованность автоматизированной и экспертной оценок по пяти задачам. Преимущества: автоматизация сортировки и контроля, высокая точность морфометрии (до долей мм), объективность, раннее выявление дефектов, цифровизация профилей птицы и яиц. Выявлены вызовы (сложность интеграции, качество данных, стоимость, инфраструктура, обучение персонала, условия съемки) и предложены пути их решения.

ГЛАВА 3 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПРОТОТИПИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВИЗУАЛЬНОГО РАСПОЗНОВАНИЯ

3.1 Методология анализа основных биолого-хозяйственных особенностей сельскохозяйственной птицы

Птицы – очень специализированные животные. Они существенно отличаются от других животных, и, в связи с этим ученые зоологи выделяют птицу в особый класс.

Куры самый многочисленный и распространенный вид домашней птицы. Человек для удовлетворения своих потребностей научился использовать следующие биологические особенности птицы: скороспелость, высокая энергия роста, всеядность, способность эмбриона развиваться вне утробы матери, превратив птицу в источник полноценных, диетических продуктов питания. Более 80 % производимого мяса от домашней птицы – это мясо кур. Куриные мясо и яйца являются дешевым диетическим продуктом.

Организм животного и все его функции, включая поведение, находятся в единстве с условиями окружающей среды. Сложный организм представляет собой саморегулируемую систему, которая реагирует на различные воздействия как единое целое. Нормальное проявление функций организма происходит при соответствии между условиями внешней и внутренней среды организма.

Знания биологических особенностей птицы являются решающим фактором при разработке новых технологических приемов для ее содержания и повышения эффективности производства.

Одним из значимых, на ровне с продуктивными параметрами, фенотипических признаков являются внешние формы (телосложение), которые формируются в условиях среды обитания и обусловлены генотипическими факторами

Экстерьер – внешний вид и строение тела животного. Экстерьер позволяет определить тип конституции, направление продуктивности, принадлежность к виду, породе, степень развития, выраженность пола (половой диморфизм), состояние здоровья, возраст и индивидуальные особенности птицы. Учение об экстерьере основано на связи между внешними признаками и внутренним строением организма. Продуктивные качества, особенности экстерьера и конституции, свойственные птицам различных видов, пород и линий, наследуются, но под влиянием селекции, кормления, условий выращивания молодняка и других факторов постоянно изменяются [173].

Тип телосложения и некоторые признаки экстерьера у птиц постоянны; другие же (особенно у кур яичных пород) изменяются в зависимости от уровня продуктивности и в течении всего продуктивного периода. По внешним признакам нельзя точно установить, сколько яиц снесла или снесет курица, а также их массу и качественные параметры (выводимость). При оценке экстерьера можно выделить из стада лучших особей. Метод отбора кур-несушек по внешним признакам продуктивности применяют в товарных хозяйствах при комплектовании родительских и промышленных стад. Однако, этот метод достаточно надежен лишь при условии хорошего знания приемов работы и большого опыта работников. При отборе и выбраковке несушек обращают внимание на следующие признаки экстерьера: – состояние гребня, сережек, ушных мочек, живота, клоаки и оперения; – расстояние между лонными костями и расстояние между задним концом киля грудной кости и концами лонных костей.

Гребень, сережки и ушные мочки называют вторичными половыми признаками, так как их физиологическое состояние находится в зависимости от происходящих в яичнике изменений. Когда молодка начинает яйцекладку, ее гребень, сережки и ушные мочки увеличиваются параллельно с созреванием и увеличением желтков в яичнике. Гребень показатель, характеризующий про-

дуктивности. У несущейся птицы гребень большой, красный гладкий, блестящий. С прекращением яйцекладки гребень бледнеет, становится жестким, шероховатым, покрывается белой чешуей.

Несущаяся курица потребляет много корма, а это ведет к увеличению желудочно-кишечного тракта. Поэтому живот у интенсивно несущейся птицы объемистый, мягкий, кожа на нем эластичная, подвижная; у не несущейся – жесткий и имеет малый объем.

Лонные кости у несущейся курицы эластичные и раздвигаются, без жировых отложений на концах, особенно у хороших несушек. Расстояние между лонными костями у несущихся кур равно 3–4 пальцам. У не несущейся курицы концы лонных костей грубые (острые) и сближены настолько, что между ними можно поместить всего 1–2 пальца. Этот признак используют при отборе кур-несушек путем измерения пальцами рук расстояний между концами лонных костей (рисунок 1).

У некоторых пород кур (русская белая, леггорн, род-айланд, плимутрок) окраска плюсны и клюва желтая. Обусловлена она наличием пигмента ксантофилла. По степени интенсивности окраски можно судить о яйцекладке. В процессе яйцекладки резервы пигментов постепенно вовлекаются в процессы обмена веществ и поступают в желток яйца. Поэтому клюв, плюсны и некоторые участки кожи бледнеют.

Признаком, характеризующим яйценоскость кур, является линька. Степень линьки у кур устанавливают по смене больших маховых перьев первого порядка.

В условиях производства, а также при организации племенной работы и проведения научных исследований используют разные методы анализа и оценки телосложения сельскохозяйственной птицы.

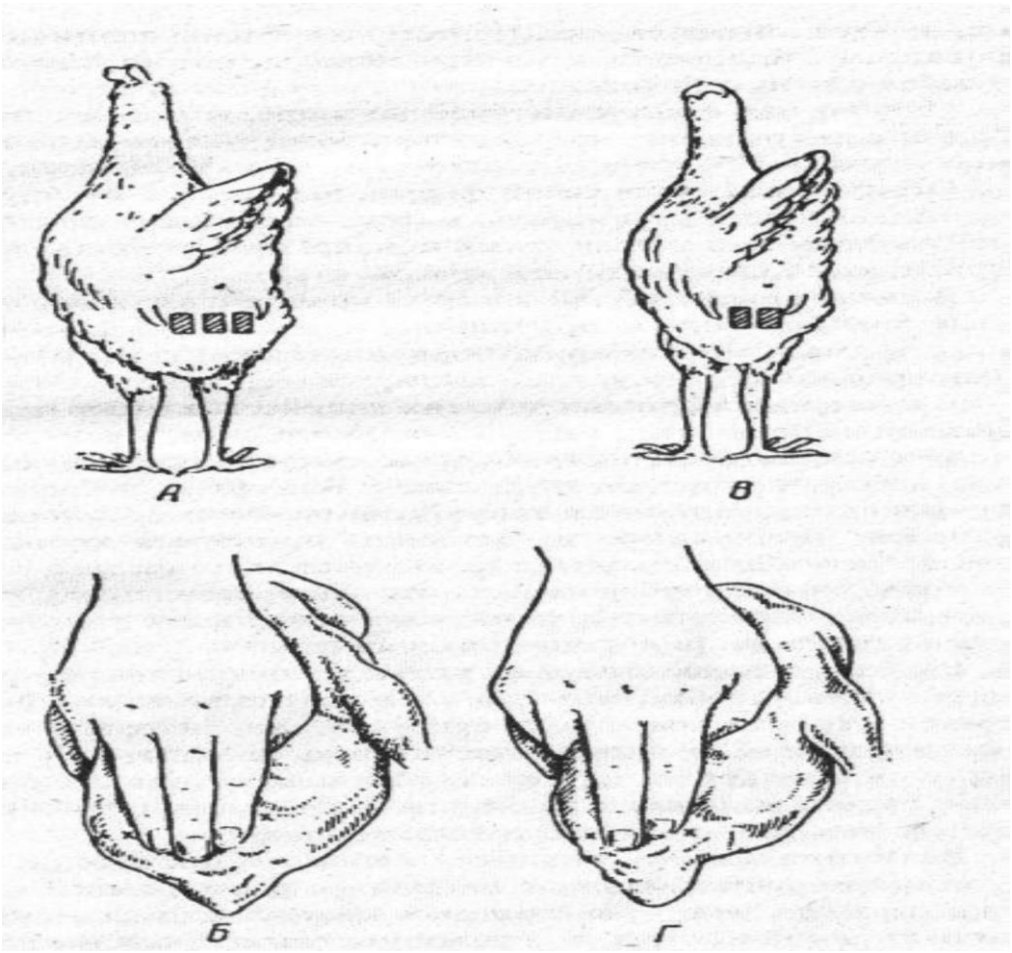


Рисунок 1 – Измерение расстояния между лонными костями курицы: А, Б – несущаяся курица; В, Г – плохая несушка

Существует три метода оценки экстерьера птиц:

- глазомерный (описательный метод), который дополняется прощупыванием статей (отдельных частей тела). Осмотр – основной прием в оценке экстерьера. Прощупыванием уточняются результаты осмотра. Для глазомерной оценки экстерьера нужно хорошо знать топографию статей, то есть их расположение;

- измерение статей (соматометрический метод). Измерение проводят для уточнения данных осмотра и для получения точных математических величин наиболее продуктивных птиц (при племенном отборе, на выставках);

3) фотографирование (соматографический метод). Фотографируют наиболее продуктивных птиц (для получения изображения с последующей обработкой и взятия промеров, на выставках).

С целью более глубоко изучения и сравнительного анализа животныхт разных групп используют еще два дополнительных метода оценки экстерьера – построение экстерьерных профилей и вычисление индексов телосложения**.** Они основаны на данных измерения статей тела птицы.

Глазомерный метод оценки экстерьера применяют при бонитировке, подборе и отборе птиц, а также при комплектовании стад. Сначала оценивают общее телосложение птицы, отмечая выраженность породного типа и направления продуктивности. Затем тело птицы условно делят на части, которые называют статями или регионами (областями) экстерьера. Наиболее важные (сложные) стати, характеризующие экстерьер, следующие: голова, шея, туловище, конечности. Каждая сложная стать при экстерьерной оценке расчленяется на более дробные (простые стати) [173].

После описания отдельных статей и признаков экстерьера формируют общую оценку, применяя следующие категории (таблица 7) [111]:

– отличный экстерьер. Отсутствуют отклонения от характерного для данной породы, породной группы или линии типа;

– хороший экстерьер. Одно несущественное отклонение от характерного типа;

– удовлетворительный экстерьер. Два отклонения от характерного типа.

Таблица 7 – Оценка и отбор яичных кур по экстерьеру

Стати тела	Хорошая несушка	Плохая несушка
Голова	Легкая, широкая, глубокая, недлинная с пропорциональным клювом, гребень красный, сережки красные, набухшие, теплые на ощупь	Очень массивная, грубая или узкая, длинная, клюв непропорционально большой или тонкий длинный, гребень и сережки маленькие, жесткие, бледные или синевато-красные
Гребень	Хорошо развитый, может свисать набок, красный, сережки красные, набухшие, теплые на ощупь	Гребень и сережки маленькие, жесткие, бледные или синевато-красные

Продолжение таблицы 7

Стати тела	Хорошая несушка	Плохая несушка
Глаза	Выпуклые, блестящие, радужная оболочка ярко-оранжевая	Впалые, мутные, радужная оболочка от желто-голубой до серо-голубой
Шея	Средней длины, с обильным плотным оперением	Очень толстая короткая или тонкая длинная
Туловище	Приподнятое впереди, широкое, грудь слегка выступает вперед	Короткое, узкое, плоское, спина покатая вперед или назад, выраженная длинноногость
Грудь	Широкая, глубокая, выпуклая. Особенно хорошо развита у кур мясных пород	Узкая, впалая
Спина	Длинная, ровная, широкая	Узкая, короткая, горбатая
Киль	Длинный, прямой, ровный	Короткий, искривленный
Живот	Мягкий, объемистый, хорошо развит	Небольшой, жесткий при прощупывании плотный
Отростки лонных костей	Широко расставлены, концы их эластичны, легко поддаются при нажиме	Жесткие, концы их сближены, могут быть загнутыми внутрь
Ноги	Прямые, ровные с мелкими гладкими блестящими чешуйками, кожа нежная, эластичная, широко расставленные	Слишком тонкие или толстые, сближенные, кожа сухая, грубая, пальцы искривленные
Оперение	Плотное, блестящее у яичных кур	Рыхлое, взъерошенное
Упитанность	Средняя	Жирная или тощая
Темперамент	Подвижна, хорошо поедает корм, но не пуглива	Малоподвижна, плохо поедает корм, очень пуглива
Расстояние между лонными костями	Помещаются 3-4 пальца руки, концы лонных костей эластичны (4-6 см)	Помещаются 1-2 пальца руки, концы лонных костей твердые

Окончание таблицы 7

Стати тела	Хорошая несушка	Плохая несушка
Расстояние между концом киля и лонными костями	Помещается ладонь (7-9 см)	Помещается только 2 пальца
Клоака	Влажная, большая, мягкая	Сухая, небольшая
Окраска частей тела	Уменьшение желтой окраски кожи вокруг клоаки, глаз, на голове и плюснах	Желтая окраска на ногах и клюве сохранилась
Длина яйцевода	60 – 70 см	10 – 15 см

Измерение статей. Для определения межпородных, межлинейных, возрастных, индивидуальных и других различий в экстерьере, а также для конструирования производственного оборудования снимают промеры. Они позволяют внести в экстерьерную оценку объективность. Если при глазомерной оценке один эксперт может считать данную стать нормальной по длине и ширине, другой – короткой и узкой, то путем измерения получают определенную математическую величину. Сопоставив ее с математической величиной другого промера, принятого за стандарт, можно получить лишь единственную оценку. Промеры удобны и для последующей обработки при характеристике групп птиц. Промерами определяют длину, ширину и обхват отдельных частей тела птиц. Для измерения используют измерительный циркуль и сантиметровую ленту. Данные промеров обычно выражают в сантиметрах. Промеры ценны лишь в том случае, если они сравнимы, одноименны и достаточно точны. При взятии промеров необходимо соблюдать некоторые условия: следует точно определять точки, между которыми берут промеры и правильно держать птицу (рисунок 2). Число промеров зависит от задач, которые ставят при изучении экстерьера.

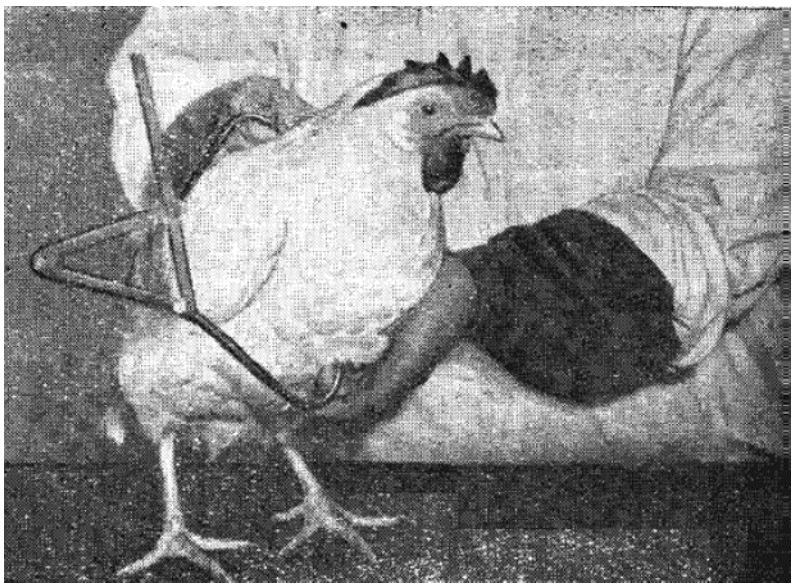


Рисунок 2 - Методика взятия промера глубина груди (измерение мерным циркулем)

На практике обычно используют данные (промеры) тех частей тела, которые связаны с продуктивными качествами (таблица 8).

Используя специальные методы математической обработки промеров, можно точнее, чем при глазомерной оценке, судить о развитии отдельных статей и типов телосложения птиц в целом. Для этого вычисляют индексы телосложения, которые выражают соотношение различных частей организма (взаимосвязанных промеров). При вычислении индексов обычно берут промеры частей тела, анатомически связанных между собой, характеризующих пропорции развития тела. Например, для оценки развития птицы в ширину делят промер ширины таза в маклоках на длину туловища (таблица 9) [110].

Фотографирование. Кроме записей по экстерьеру птиц, большое значение имеют их изображения. Высокопродуктивную птиц обычно фотографируют с целью получения изображений и последующего анализа [173]. Экстерьер и конституцию промышленной и племенной птицы оценивают индивидуально не менее 2 раз в течение ее жизни:

первый раз - в суточном возрасте при приемке молодняка на выращивание;

второй раз – при переводе ремонтного молодняка в группу несушек (во время комплектования птичников для взрослой птицы).

Таблица 8 - Используемы мерные инструменты и точки взятия основных промеров сельскохозяйственной птицы

Промер	Точки взятия	Инструмент для измерения	Что характеризует
Прямая длина туловища	Последний шейный позвонок и конец копчика. Если трудно отыскать эти точки (у упитанной птицы), то измеряют расстояние между верхним концом ключицы и копчиковой железой	Мерная (сантиметровая) лента	Размер птицы и развитие внутренних органов
Обхват груди	У основания крыльев по вертикальной линии, касательной к последнему шейному позвонку и переднему краю киля	Мерная (сантиметровая) лента	Размер птицы, развитие внутренних органов и крепость телосложения
Глубина груди	Передний край киля и грудная часть позвоночника. Птица должна лежать на боку	Кронциркуль	Размер птицы и развитие груди
Ширина груди	Наружные выступы плечелопаточных сочленений	Кронциркуль	Развитие груд-ной клетки и грудных мышц
Ширина таза (в маклоках)	Наружные выступы тазобедренных сочленений	Кронциркуль	Развитие внутренних органов и крепость телосложения
Длина киля	Передний и задний конец киля	Кронциркуль, мерная (сантиметровая лента)	Развитие внутренних органов и мясные качества
Длина плюсны	Соединение голени и плюсны до начала пальцев	Кронциркуль, мерная (сантиметровая лента)	Телосложение, развитие костяка

При оценке и отборе ремонтного молодняка для промышленных целей учитывают: состояние его здоровья; внешний вид и темперамент; живую массу; развитие, состояние и окраску производных кожного покрова; телосложение; развитие мышц и состояние костяка; окраску частей тела; способ выращивания, содержания и кормления птицы. Осмотр ведут в определенной по-

следовательности, начиная с головы. Однако по экстерьеру нельзя точно определить половую зрелость несушки, ее живую массу, яйценоскость. Это можно установить лишь при индивидуальном учете продуктивности.

Таблица 9 - Индексы телосложения кур

№ п/п	Индекс	Формула расчета	Что характеризует
1	Массивности	(Вес тела × 100) / Длина туловища	Компактность телосложения
2	Сбитости	(Обхват груди × 100) / Длина туловища	Развитие массы тела
3	Грудной I	(Ширина груди × 100) / Глубина груди	Относительное развитие груди
4	Грудной II	(Ширина груди × 100) / Длина киля	Относительное развитие груди
5	Тазогрудной	Ширина таза / Ширина груди	Развитие спины (широкая, ровная или суживающаяся к хвосту)
6	Высоконогости	(Длина плюсны × 100) / Длина тела	Относительное развитие ног
7	Укороченности	Длина туловища / Длина киля	Характеризует развитие мясных качеств птицы
8	Широкотелости	(Ширина таза в маклоках × 100) / Длина туловища	Сравнительная характеристика разных пород
9	Высоконогости (2)	(Длина плюсны × 100) / Общая длина ноги	Характеризует высоту постановки туловища

У сельскохозяйственной птицы могут быть выражены признаки крепкой, нежной, плотной, рыхлой и реже грубой конституции.

Куры типично мясного типа в современном птицеводстве распространены мало. Это крупные птицы с широким и глубоким корпусом, рыхлым оперением. Куры малоподвижные, флегматичные.

Следует отметить, что грубая конституция гораздо менее свойственна птице, чем нежная плотная и нежная рыхлая.

Главным фенотипический признаком сельскохозяйственной птицы является яйценоскость, а для яичных кур он является очень важным, так как, их разводят не только для получения инкубационного яйца, но и пищевого.

Яйценоскость – сложное явление, обусловленное деятельностью всего организма. По уровню яйценоскости в зрелом возрасте первое место занимают куры яичных пород, затем, перепела, куры мясояичных пород, цесарки, утки, индейки, гуси и голуби. Яичная продуктивность складывается из количества яиц, снесенных птицей за определенный промежуток времени, их массы и качественного состава. На яичную продуктивность влияют различные факторы (вид птицы, порода, индивидуальные особенности, условия содержания, кормления и т.д.)

Яйцо птицы имеет сложное строение (рисунок 3). Размер, масса морфологические признаки, химический состав и физические свойства яйца зависят от генетических особенностей птицы (вида, породы, линии, кросса), возраста, условий содержания и кормления. Вместе с тем яйца птицы разных видов и направлений продуктивности имеют много общего, что можно установить, например, при изучении строения яйца курицы. Качество яиц является одним из основных факторов, который, наряду с пищевой ценностью их, определяет результаты инкубации, жизнеспособность выведенного молодняка и его дальнейшую продуктивность. В связи с этим ученые уже не одно десятилетие изучают качественные параметры яиц, применяя новые более совершенные приборы и методики анализ и оценки.

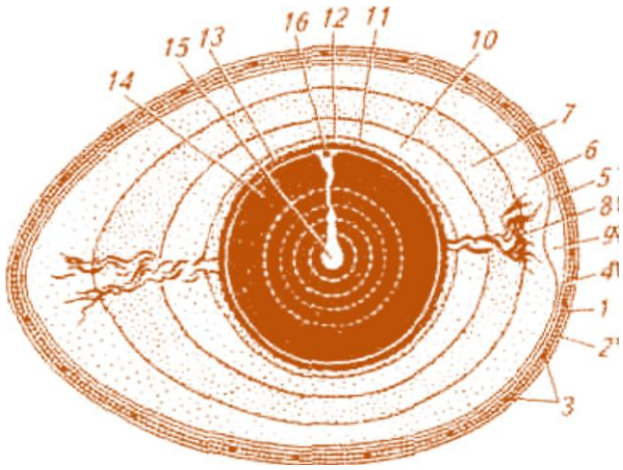


Рисунок 3 – Строение куриного яйца: 1 – надскорлупная оболочка; 2 – скорлупа; 3 – поры; 4 – подскорлупная оболочка; 5 – белковая оболочка; 6 – наружный слой жидкого белка; 7 – наружный слой плотного белка; 8 – градинки; 9 – воздушная камера; 10 – внутренний слой жидкого белка; 11 – внутренний слой плотного белка; 12 – желточная оболочка; 13 – светлый слой желтка; 14 – темный слой желтка; 15 – латебра; 16 –зародышевый диск

Методы, применяемые для оценки качества подразделяются на:

- органолептические (без вскрытия и со вскрытием);
- объективные (без вскрытия и со вскрытием).

Органолептическая оценка является самой быстрой, но результаты оценки с высокой погрешностью. Этим способом оценивают особенности величины, формы, мраморность, шероховатость, поврежденность, загрязненность, пигментация.

Наиболее точными, но трудоемкими и затратными являются методы оценки яиц с помощью приборов (объективные).

Наиболее важными морфофизическими качествами интактных инкубационных яиц являются их масса, индекс формы, плотность, свежесть и качество скорлупы.

Масса яиц является одним из самых важных показателей инкубационных и товарных качеств яиц, влияющих на длительность инкубирования яиц, выводимость и качество молодняка. Значительный разброс по массе является причиной неоднородности стада по развитию или указывает на наличие разновозрастной птицы в стаде. Самой высокой выводимостью обладают яйца

средней массы для данного возраста птицы. Чем крупнее яйцо, тем выше его питательность (за счет увеличенного желтка).

Масса яиц, прежде всего, зависит от происхождения птицы (линии, породы) и от периода продуктивного использования. Возраст половозрелости оказывает серьезное влияние на массу яиц. Масса яиц увеличивается в среднем на один грамм, если половая зрелость задерживается на одну неделю.

Форму оценивают, как органолептическим методом (визуально), учитывая при этом ее различные конфигурации (овальность, клиновидность, асимметричность), так и инструментально. Форма яиц во многом определяет их инкубационные и товарные качества. Оптимальный индекс формы куриных яиц составляет от 70% до 80%.

Форма яиц является важным показателем качества, так как влияет на положение эмбриона в процессе его развития. Яйца слишком удлиненной или округлой формы имеют пониженную выводимость.

Форма яиц определяется показателем индекса формы (ИФ), вычисляемого по формуле:

$ИФ = \frac{d}{D} \cdot 100\%$, где d – поперечный диаметр, мм; D – продольный диаметр яйца, мм [110].

К инкубированию допускаются яйца с индексом формы 70-80% (для яичной птицы) и 70-82% (для мясной). Форма яиц меньше зависит от породной принадлежности, и больше от возраста и индивидуальных особенностей птицы.

«Мраморность» или пятнистость характеризуется наличием на скорлупе светлых пятен различной величины и характеризует неоднородность распределения органических и неорганических веществ и может быть определена визуально (по % занимаемой площади или, по балльной оценке), наиболее полно «мраморность» проявляется лишь на 2-3 сутки после снесения.

Шероховатость скорлупы представляет собой скопление на поверхности скорлупы мелких известковых наростов разной величины в результате нарушения минерального обмена в организме курицы несушки в процессе образования скорлупы яйца.

Окраска скорлупы разнообразна – от чисто белого или кремового до коричневого различной интенсивности и оттенков. Она в значительной степени определяется наследственными факторами.

Высота воздушной камеры – это показатель, характеризующий длительность и условия хранения яиц перед инкубацией. Большие значения этого показателя указывают на возможное снижение вывода цыплят и низкую их жизнеспособность вследствие потери яйцом воды и происшедших в нем биофизических и биохимических изменений.

Упругая деформация скорлупы характеризует толщину и прочность скорлупы и зависит от генотипа, возраста, уровня продуктивности и кормления.

Анализ и оценку морфофизических качества внутреннего содержимого яиц проводиться при нарушении целостности скорлупы.

Яйцо состоит из белка, желтка и скорлупы (таблица 10). Примерное их соотношение в яйцах сельскохозяйственной птицы следующее: 6 частей белка, 3 части желтка, 1 часть скорлупы. Оптимальное соотношение белка и желтка в яйцах 2:1.

Качество яиц характеризуют качество белка и желтка. Качество белка оценивается по следующим признакам: консистенция, слоистость, высота плотного белка, диаметр (большой и малый) плотного белка, масса всего белка и отдельно его фракций и их соотношение, цвет, запах и т.д. На основании показателей высоты и диаметров белка вычисляется индекс белка.

Качество желтка определяется по следующим показателям: масса, пигментация, высота, диаметр, индексом желтка и т.д. О качестве скорлупы судят по прямому ее измерению – по толщине скорлупы.

Таблица 10 – Физический состав яйца (%) и области вариаций (Shenstone F.S.1968)

Физический состав яйца	Области вариаций
Скорлупа	10,5 (7,8–13,6)
Желток	31,1 (24,0–35,5)
Белок	58,5 (53,1–68,9)
Слои белка: наружный жидкий	32,0 (10–60)
наружный плотный	57,0 (30–80)
внутренний жидкий	17,0 (1–40)
внутренний плотный (халазообразующий)	2,0

Для достоверности данных по величине толщины скорлупы ее измеряют в трех частях яйца – на полюсах и в середине, что обычно отражает среднюю ее толщину. Абсолютная масса скорлупы яиц является относительно постоянной величиной и почти не зависит от размеров яйца. Постоянство абсолютной массы скорлупы при увеличении размеров яиц является одной из причин снижения ее прочности.

Таким образом, из всех видов сельскохозяйственной птицы куры являются самой распространенной и обладая определенными биологическими особенностями они широко используются как в промышленном птицеводстве, так и в частном секторе. Изучение и разработка мероприятий по совершенствованию биологических и хозяйственных признаков местных пород кур и кроссов с использованием мирового генофонда может являться хорошей стратегией развития птицеводства в промышленных и товарных предприятиях. В течение последних несколько десятилетний селекция домашней птицы привела не только к созданию специализированных гибридов несушек и скороспелых кроссов бройлеров, характеризующихся хорошими адаптационными способностями, высоким уровнем продуктивности превышающем показатели их диких предков, но и к повышению биологической эффективности новых генетических групп. Результатами селекционных работ в яичном птицеводстве явля-

ется не только увеличение массы яйца, но и изменения в соотношении составных его частей. Аномалии в форме изменения экстерьерных особенностей высокопродуктивной птицы, морфологии яиц могут оказать влияние на уровень продуктивности кур-несушек, пищевые и инкубационные качества яичной продукции сельскохозяйственной птицы. Морфометрические и качественные показатели яйца зависят от множества факторов: генетических особенностей птицы (вида, породы, линии, кросса), возраста, условий содержания и кормления. В связи с этим анализ и оценка морфометрических показателей яиц кур, характеризующих их морфологический и качественный состав, инкубационные качества в зависимости от их генотипа и уровня продуктивности является актуальной задачей в современном промышленном птицеводстве.

3.2 Выбор средств и методика изучения параметров роста, экстерьера ремонтного молодняка, кур-несушек и морфометрических показателей яиц

В настоящее время специалистами и учеными в области птицеводства «активизируются» научные исследования по разработке и внедрению инновационных методов оценки и отбора при селекции кур, оптимизации технологии промышленного кормления и содержания поголовья для «усиления продуктивного потенциала» и других хозяйственно-биологических особенностей кур, а также обеспечения оптимальных условий для реализации их продуктивного потенциала.

Экспериментальная часть наших исследований, представленных в диссертационной работе была выполнена в период с 2021 года по 2026 год на базе ООО «Племптицесовхоз «Увинский» Увинского района Удмуртской Республики, ООО «Сарапульская птицефабрика» г Сарапул, Удмуртская Республика и в учебно-научной лаборатории биотехнологии ФГБОУ ВО «Удмуртский ГАУ» по схеме, представленной на рисунке 4.



Рисунок 4 – Схема исследований

В условиях производства исследования проведены в:

- ООО «Племптицесовхоз «Увинский» Увинского района УР. Исследовано поголовье ремонтного молодняка (900 голов) и кур-несушек родительского стада (800 голов) кроссов Ломанн Браун Классик, Браун Ник, Супер Ник, Коралл.

- ООО «Сарапульская птицефабрика» г Сарапул УР. Исследовано поголовье кур-несушек промышленного стада (800 голов) кроссов Ломанн Браун Классик, Браун Ник, Хайсекс Браун, Супер Ник, Коралл, ЛСЛ-Классик.

Содержание кур в производственных корпусах, оборудованных 3-х ярусными клеточными батареями по 7-8 голов в клетке.

Для анализа и оценки основных биолого-хозяйственных признаков кур разных генетических групп были определены контрольные клетки в разных ярусах и частях птичника из расчета не менее 10% совокупной выборки подопытного поголовья.

Живая масса ремонтного молодняка кур определена путем индивидуального взвешивания (на электронных весах с точностью до 0,001 кг) до утреннего кормления ежемесячно (от рождения до 17-недельного возраста), по результатам которого рассчитываются:

- абсолютный прирост живой массы:

$$A = m_t - m_0, \quad (10)$$

где A – абсолютный прирост, г (кг); m_t – живая масса в конце учетного периода, г (кг); m_0 – живая масса в начале учетного периода, г (кг);

- среднесуточный приросты живой массы:

$$D = \frac{m_t - m_0}{t}, \quad (11)$$

где D – среднесуточный прирост, г/сутки; t – количество дней в учетном периоде;

- относительный прирост живой массы:

$$R = \frac{m_t - m_0}{\frac{m_t + m_0}{2}} \cdot 100, \quad (12)$$

где R – относительный прирост, %.

- коэффициент роста молодняка кур:

$$K = \frac{m_i}{m_0}, \quad (13)$$

Показатели абсолютного и среднесуточного прироста живой массы дают представление об интенсивности роста птицы за определенный промежуток времени, а также о его скороспелости.

Глазомерная оценка экстерьера молодняка проводилась через 12-18 часов после отбора контрольной партии цыплят, но не позже 20 часов после вывода.

При внешнем осмотре оценена реакция на звук, активность. Оценка птицы по дополнительным параметрам: подвижный, устойчивый на ногах, активно реагирует на звук, имеет четко выраженный рефлекс клевания, подобранный и мягкий живот с плотно закрытым пупочным кольцом, чистую, розовую клоаку, пух должен быть обсохший, хорошо распушенный и равномерно распределенный по всему телу, глаза открытые, блестящие, голова, клюв, суставы, пальцы без дефектов.

В период с 2018 по 2022 годы нами были разработаны и апробированы на поголовье крупного рогатого скота молочных и мясных пород три способа получения экстерьерных параметров:

- первый способ заключается в контактном измерении. В этом случае замеры проводились с помощью измерительных инструментов (мерная лента, мерная палка, циркуль). Способ является трудоемким и точность измерений зависит от субъективных факторов;

- второй способ заключается в определении промеров статей коров по их изображениям (фотографиям). Этот способ был взят за основу в наших исследованиях при изучении и анализе экстерьера подопытной птицы;

- третий способ определения экстерьерных параметров методом обработки изображений, полученных с помощью сенсора глубины– StructureSensor 3D.Сенсор глубины представляет собой камеру, которая крепится к планшетному устройству и позволяет захватывать трехмерное изображение объектов.

Этот способ был взят за основу при компьютерном моделировании и разработке программы оценки яиц.

Погрешность измерений между контактным способом и методом обработки изображений, полученных путем фотографирования, а также между контактным способом и методом получения промеров с помощью сенсора глубины не превышает 5%. При этом использование цифровых технологий при получении и обработке изображений являются эффективными и повышают точность и объективность результатов оценки.

В наших исследованиях определение промеров статей молодняка и кур по фотографиям было выполнено с помощью введения в кадр перспектометра, размеры которого заведомо известны. В качестве перспектрометра была использована мерная линейка. Изображение параметров экстерьера получено на цифровом фотоаппарате с высокой разрешающей способностью матрицы, установленном на штативе, с использованием сетки фокусировочного экрана. Указанная функция позволяет выровнять получаемое изображение относительно экрана фотоаппарата. Так, были получены две проекции животного: вид сбоку и сверху. При снятии первой проекции животное располагалась параллельно экрану фотоаппарата, в двух других случаях – перпендикулярно.

Полученные изображения были обработаны в графическом редакторе следующим образом. На изображении были определены границы перспектрометра и исследуемых параметров, затем между ними проведены линии (рисунок 5, 6).

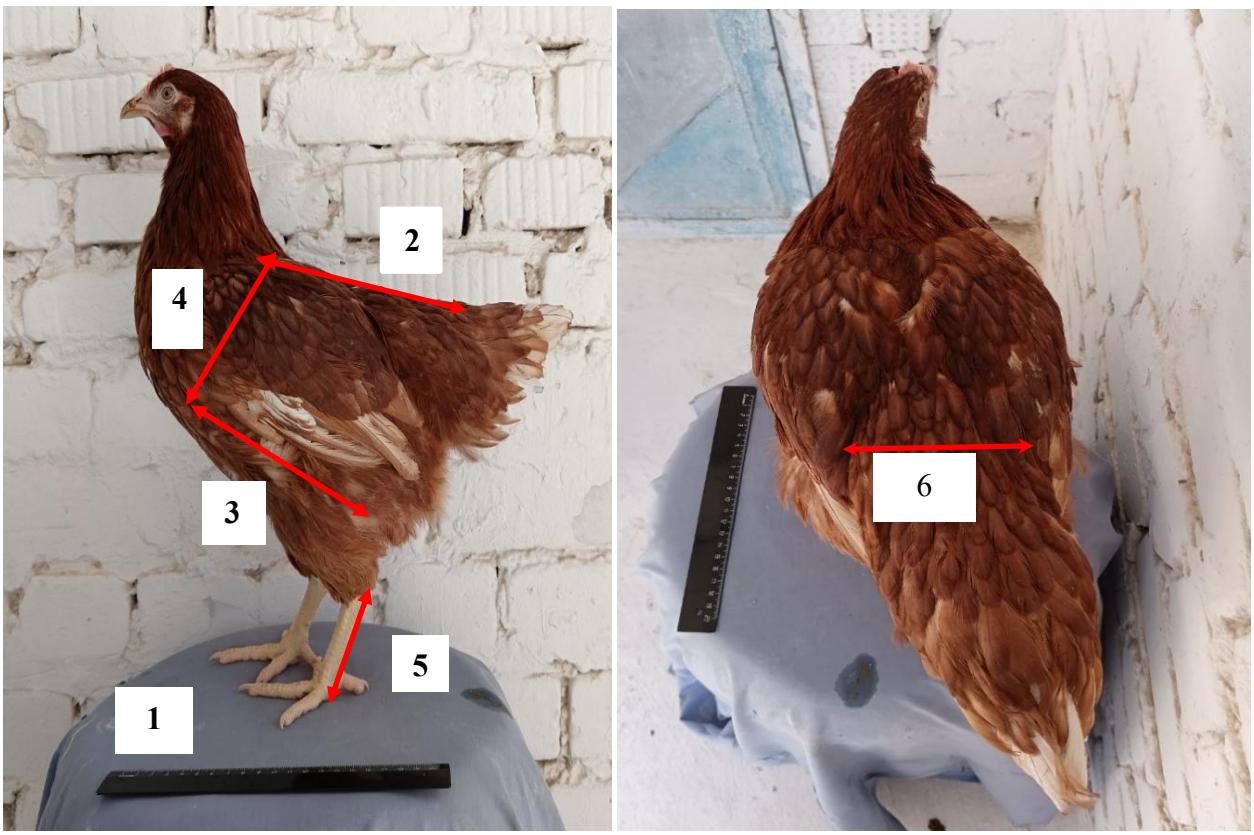


Рисунок 5 – Определение экстерьерных параметров ремонтного молодняка (13 недель):
а) вид сбоку, б) вид сверху
1 – перспектометр; 2 - длина туловища; 3 – длина киля; 4 – передняя глубина туловища;
5 – длина плюсны, 6 – ширина таза

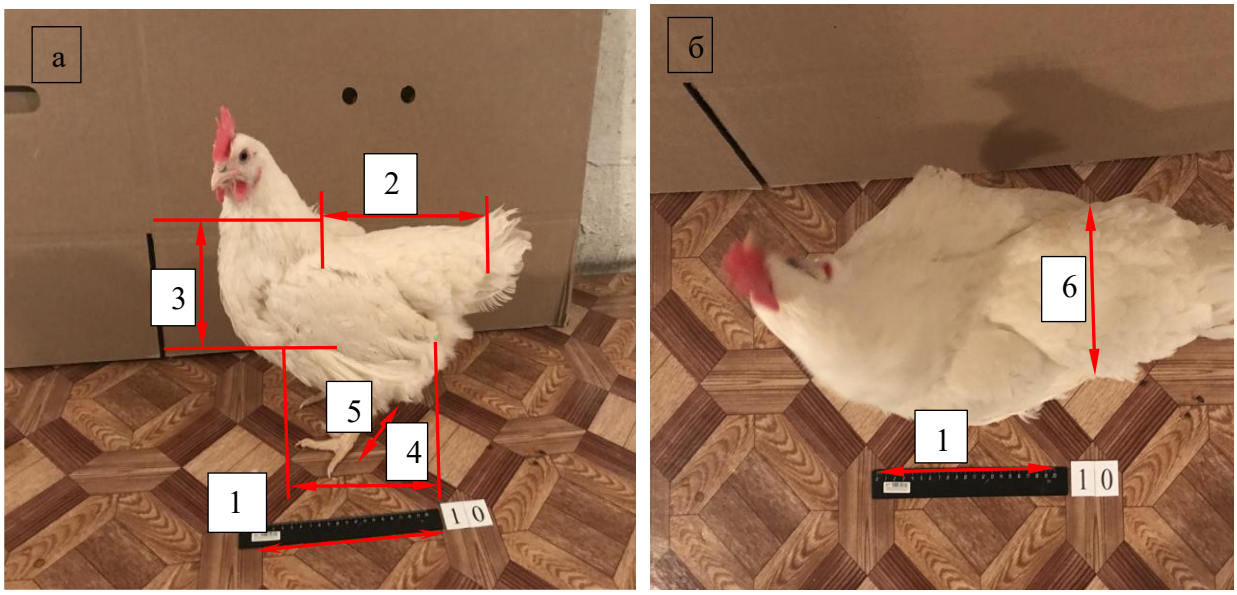


Рисунок 6 - Определение экстерьерных параметров курицы:
а) вид сбоку, б) вид сверху
1 – перспектометр; 2 – длина туловища; 3 – передняя глубина туловища; 4 – длина киля;
5 – длина плюсны; 6 – ширина таза в маклоках

Таким образом найдены определенные размеры в пикселях. Истинные размеры экстерьерных параметров птицы были вычислены по формуле:

$$L = \frac{s_2 \cdot l}{s_1}, \quad (14)$$

где l – длина перспектрометра, см; s_1–размер перспектрометра в пикселях; s_2–размер объекта в пикселях. Длина линии в пикселях вычислена как гипотенуза прямоугольного треугольника, катеты которого составляют длину и ширину выделенной области при определении того или иного промера по изображению.

Полученные результаты промеров были обработаны статистическим методом в программном продукте Matlab с целью оценки достоверности результатов. Полученные результаты были использованы для разработки метода расчета комплексного индекса типа телосложения, который включает в экстерьерные параметры: длина туловища, ширина таза в маклаках, передняя глубина и ширина туловища, длина киля, длина плюсна.

Для оценки типа телосложения кур были рассчитаны экстерьерные индексы: ИТ - индекс туловища (15); ИТТ – индекс типа телосложения (16) по формулам, разработанным С.Д. Батановым и И.А. Барановой:

$$\text{ИТ} = \frac{\text{ДК}}{(\text{ДК}\cdot\text{ПГТ}\cdot\text{ШМ}+(\text{ДТ}-\text{ДК})\cdot\text{ШМ}\cdot\text{ПГТ})^{\frac{1}{3}}}, \quad (15)$$

$$\text{ИТТ} = \frac{\text{ДП}}{(\text{ДК}\cdot\text{ПГТ}\cdot\text{ШМ}+(\text{ДТ}-\text{ДК})\cdot\text{ШМ}\cdot\text{ПГТ})^{\frac{1}{3}}}, \quad (16)$$

где ДК – длина киля, ПГТ – передняя глубина туловища, ШМ – ширина таза, ДТ – длина туловища, ДП – длина плюсны (рисунок 4).

За последнее десятилетие в промышленном птицеводстве России значительно возросло поголовье всех видов птицы, что позволило существенно увеличить производство продукции и повысить удельный вес специализированных хозяйств. Производство инкубационных и пищевых яиц в больших масштабах требует получения огромного количества яиц с высокими инкубаци-

онными качествами, от которых в значительной степени будет зависеть эффективность всей последующей технологической цепи до получения конечного продукта – пищевых яиц и мяса бройлеров.

Яйцо птиц представляет собой сложную и высокодифференцированную яйцеклетку, окруженную питательными веществами, находящимися в желтке и белке с их оболочками и скорлупой. В числе основных морфологических признаков яиц —масса и соотношение составных частей, индексы формы яйца, белка и желтка, прочность (толщина) скорлупы. При этом масса яиц имеет важнейшее практическое значение, поскольку она определяет общий запас питательных веществ, распределение яиц по весовым категориям и качество суточных цыплят [177].

Комплексное изучение качества яиц является одним из основных путей повышения продуктивности и эффективности отрасли птицеводства. В птицеводстве при изучении параметров качества яйца применяются разные методы с использованием различных приборов.

Одним из основных условий, обеспечивающих хорошие результаты инкубации, является хорошее качество яиц. Яйца должны содержать все вещества, необходимые для оптимального развития зародыша, и иметь нормальное строение. Биологическая неполноценность яиц является главной причиной получения неудовлетворительных результатов инкубации и пониженной жизнеспособности молодняка, а их неоднородность приводит к выводу разнокачественного молодняка.

Инкубационные яйца оценивают путем внешнего осмотра, просвечивания на овоскопе, вскрытия яиц, биохимических и физико-химических анализов. Во время инкубации их оценивают по оплодотворенности, выводимости, характеру развития и заболеваниям эмбрионов, по качеству выведенных цыплят и их жизнеспособности в первые дни жизни [21].

Органолептическая оценка (с помощью органов чувств) является самой быстрой и поэтому наиболее распространена в практике. При этом способе оцениваются те признаки и свойства яиц, которые невозможно определить с

использованием измерительной техники (вкус и запах яиц, особенности формы, степень мраморности скорлупы и т.д.). Основной недостаток органолептических методов — их субъективность и возникающая при этом неточность.

Объективная оценка, осуществляемая с помощью измерительных приборов, отличается повышенной точностью получаемых показателей, которые выражаются в конкретных величинах. Недостатком количественных методов, особенно химических, является большая трудоёмкость, что ограничивает их применение.

Признаки, оцениваемые с помощью органолептических методов:

а) без вскрытия яиц: яйцо в целом — величина, форма; скорлупа — шероховатость, наличие наростов, блеск, мраморность, пигментация, цвет флуоресценции, поврежденность, загрязнённость; воздушная камера — величина, положение; желток — подвижность, пигментация; желток и белок — наличие крупных включений;

б) при вскрытии: белок — слоистость, форма плотного белка, пигментация, прозрачность, наличие включений; желток — пигментация, оплодотворённость, наличие включений; белок и желток — запах, вкус (при дегустации).

Показатели, оцениваемые объективными методами:

а) без вскрытия яиц: яйцо в целом — масса, плотность, объём, площадь поверхности, индекс формы, индекс свежести, соотношение углов, индекс эллипсоидности, индекс асимметрии, светопроницаемость, биопотенциал; скорлупа — упругая деформация, проницаемость (света, ультразвука, радиоактивных и рентгеновских лучей), интенсивность пигментации; белок — показатель подвижности (стабильности); белок и желток — наличие крупных включений, электропроводность; воздушная камера — диаметр, высота;

б) при вскрытии: скорлупа — сопротивление раздавливанию, удару, проколу, разрыву, толщина, относительная масса, число, распределение и размер пор, содержание кальция и других веществ; подскорлупные оболочки — тол-

щина, прочность, водо- и газопроницаемость; белок — высота, большой и малый диаметры растекания, индекс, единицы Хау, масса в целом и по фракциям; желток — высота, диаметр, индекс, содержание каротиноидов, масса, кислотность; белок и желток — отношение белка к желтку, плотность, содержание сухих веществ, протеина, аминокислот, липидов, энергии (теплоты сгорания), витаминов, макро- и микроэлементов, pH, коэффициент рефракции.

В наших исследованиях для оценки качества яиц в три смежных дня равномерно отбирали с разных ярусов клеток и участков птичника по 30 штук. Оценку качества яиц кур-несушек разных кроссов проводили на разных этапах репродуктивного периода:

- в период после достижения 50% продуктивности (25 недель)

- период достижения максимальной интенсивности яйцекладки (42 недели);

- период начала снижения интенсивности яйцекладки (80 недель).

Оценивали следующие морфологические и биофизические показатели качества яиц:

До вскрытия:

- массу яиц (г) — индивидуальным взвешиванием на лабораторных весах (Ohaus PA413C) с точностью до 0,1 г;

- выход яиц по категориям (%) — по результатам взвешивания и осмотра яиц, согласно действующему ГОСТ («Межгосударственный стандарт ГОСТ 31654-2012 «Яйца куриные пищевые. Технические условия». М., 2013);

- индекс формы яиц (%) — с помощью индексомера (ИМ-1) во время взвешивания. Широко используется расчетный метод определения – это отношение малого (d) диаметра яйца к большому (D) диаметру (пролегающему через острый и тупой полюса), выраженное в процентах.

$$\text{ИФ} = \frac{d}{D}, \qquad (17)$$

где ИФ – индекс формы яйца, %; *d* – малый диаметр (поперечный) яйца, измеряемый в самой широкой его части, мм; *D* – большой диаметр (продольный) яйца, измеряемый между острым и тупым полюсами, мм.

Форму оценивали, также органолептически, учитывая при этом ее различные конфигурации (овальность, клиновидность, асимметричность);

После вскрытия:

- массу яйца и его составных частей определяли путем взвешивания на электронных весах с точностью до 0,1 г;

- высота белка и желтка — с помощью микрометра типа «паук» и нивелирного столика;

- диаметр белка и желтка — штангенциркулем, с точностью измерения 0,1 мм

- масса белка, желтка, скорлупы, массовое соотношение белка и желтка — при разделении и индивидуальном взвешивании составных частей (лабораторные весы, точностью измерения до 0,1 г);

- индекс белка (ИБ) — по соотношению высоты наружного слоя плотного белка (измерение микрометром с точностью до 0,01 мм) к среднему диаметру его растекания с расчетом по формуле:

$$\text{ИБ} = \frac{2h}{\sqrt{d+D}} \cdot 100\%, \quad (18)$$

где h — высота плотного белка (мм), d и D — малый и большой диаметры вылитого белка (мм);

- индекс желтка (ИЖ) — по соотношению высоты вылитого на горизонтальную поверхность желтка (измерение микрометром с точностью до 0,01 мм) к среднему диаметру его растекания с расчетом по формуле:

$$\text{ИЖ} = \frac{2h}{\sqrt{d_1+d_2}} \cdot 100\%, \quad (19)$$

где h — высота желтка (мм), d_1 и d_2 — малый и большой диаметры вылитого желтка (мм);

- толщина скорлупы (мкм) — измерением микрометром (точность до 0,01 мм) в трех частях яйца (экваториальной, на тупом и остром концах) и расчетом среднего значения для каждой выборки;

- плотность яиц (г/см^3):

$$\rho_{я} = \frac{m}{V}, \tag{20}$$

где m – масса яйца, г; V – объем яйца, см^3.

Внешние параметры яиц оценивали по следующим признакам: большой диаметр яйца (*D*), малый диаметр яйца (*d*), длина большей окружности (*L*), длина меньшей окружности (*l*), площадь продольного сечения (S_1), площадь поперечного сечения (S_2), площадь поверхности (S_3), объем яйца (*V*), угол острого конца (α).

Для более глубоко анализа и объективной комплексной оценки морфометрических параметров был рассчитан индекс формы яйца по формуле, разработанной С.Д. Батановым и И.А. Барановой:

$$I = \frac{S_2}{S_1} \cdot \sin\alpha\ , \tag{1}$$

где площадь поперечного сечения яйца, определяется как:

$$S_2 = \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2. \tag{2}$$

Площадь продольного сечения яйца, определяется аналогично площади эллипса:

$$S_1 = \left(D_1 \cdot \left(\frac{d}{2}\right) \cdot \pi + D_2 \cdot \left(\frac{d}{2}\right) \cdot \pi\right)/2, \tag{3}$$

где D_1 – большая полуось продольного сечения,

D_2 – малая полуось продольного сечения.

Внешние признаки яиц определяли по их изображениям, полученным методом фотографирования.

Определение промеров яиц по фотографиям было выполнено с помощью введения в кадр перспектометра, размеры которого заведомо известны. В качестве перспектрометра была использована мерная линейка. Изображение получено на цифровом фотоаппарате с высокой разрешающей способностью

матрицы, установленном на штативе, с использованием сетки фокусировочного экрана. Указанная функция позволяет выровнять получаемое изображение относительно экрана фотоаппарата.

Полученные изображения были обработаны в графическом редакторе следующим образом. На изображении были определены границы перспектометра и исследуемых параметров, затем между ними проведены линии (рисунок 7).

Таким образом, современное состояние развития научно-технического прогресса дает возможность разрабатывать инновационные технологические приемы по анализу и оценке качественных параметров инкубационных яиц, повышению уровня выводимости яиц и вывода цыплят, которые тесно связаны с эмбриональной жизнеспособностью птицы. Важным в этом плане является прогнозирование максимальной эффективности процесса воспроизводства до закладки яиц в инкубатор.

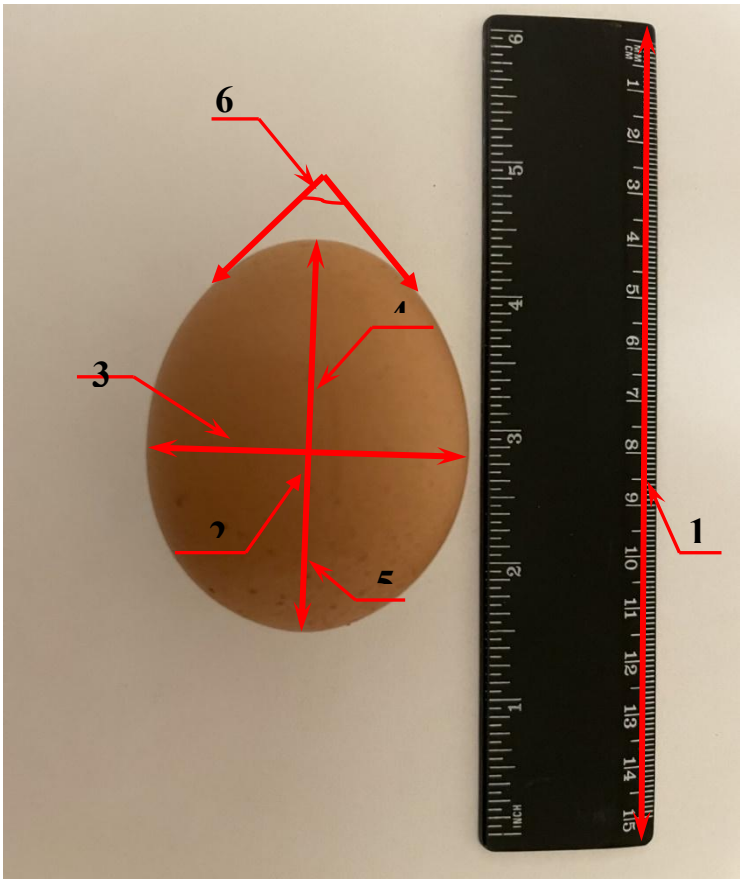


Рисунок 7 - Определение внешних параметров яйца: 1 – перспектометр; 2 – большой диаметр яйца; 3 – малый диаметр яйца; 4 – большая полуось продольного сечения; 5 – малая полуось продольного сечения; 6 – угол

Это дает возможность инкубационные некачественные яйца использовать для других целей и экономить электроэнергию. В этой связи особую ценность представляют исследования по изучению биолого-хозяйственных особенностей кур-несушек, генетическую и технологическую обусловленность морфометрических и биофизических показателей куриных яиц и связь их с выводимостью.

3.3 Методология математического моделирования процессов анализа биолого-хозяйственных особенностей сельскохозяйственной птицы

В разделе 3.3 представлена методология построения и программной реализации математических моделей, направленных на автоматизированную оценку биолого-хозяйственных особенностей сельскохозяйственной птицы на основе цифровых изображений, получаемых с использованием систем технического зрения. Рассматриваются модели трёх типов: оценка экстерьера кур-несушек по трёхмерным изображениям, определение дефектов скорлупы инкубационных яиц, а также классификация оплодотворённости и ранней гибели эмбриона по овоскопическим снимкам.

3.3.1 Теоретические предпосылки моделирования оценки экстерьера кур несушек и морфологических параметров яиц

В последние годы технологии цифровизации и моделирования активно проникают в различные сферы нашей жизни, и птицеводство не стало исключением. Цифровые технологии в значительной степени могут упростить процессы селекции и управления на птицефермах. С их помощью можно анализировать тысячи потенциальных решений, что позволяет селекционерам выбирать наиболее перспективные варианты для дальнейшей оценки. Это не только ускоряет процесс селекции, но и повышает его эффективность, так как позволяет сосредоточиться на тех характеристиках, которые действительно

имеют значение для здоровья, продуктивности птицы и продолжительности продуктивного периода.

Одной из ключевых возможностей цифровых технологий является их способность прогнозировать, как различные породы сельскохозяйственной птицы (генетические группы) реагируют на изменения в окружающей среде, программы кормления и режимы содержания. Это особенно важно в условиях глобальных изменений климата, когда специалисты и работники сталкиваются с новыми вызовами, такими как экстремальные температуры, изменения в составе кормов и появление новых патогенных микроорганизмов, влияние экологических факторов на качественные параметры получаемой животноводческой продукции.

Цифровые модели представляют собой значительный шаг вперед в области птицеводства. Они не только помогают повысить продуктивность и проводить мониторинг здоровье домашней птицы, но и делают управление технологическими процессами и процессами воспроизводства более эффективным и этичным. Внедрение таких технологий в практику птицеводов может существенно изменить подход к производству, обеспечивая более устойчивое и эффективное ведение отрасли.

Для повышения эффективности животноводства (птицеводства) в современных условиях промышленных технологий возникает необходимость разработки информационных и коммуникационных технологий, направленные на цифровизацию процессов получения изображений, оценки экстерьера сельскохозяйственной птицы и морфометрических параметров яиц. В настоящее время возникает понимание определения этапов разработки и внедрения систем цифровизации процесса оценки экстерьера животных и морфометрических параметров яиц с использование технологии машинное зрение и нейросети глубокого обучения [233, 246].

В условиях промышленного птицеводства актуальным является определение целесообразности разработки и внедрения информационных технологий: системы машинного зрения; обучающие наборы данных; системы сбора

изображений; модели глубокого обучения; нейросети для обучения; параметры производительности, оценки биологической и экономической эффективности систем [233, 246]. Машинное зрение является инновационным решением благодаря сочетанию датчиков и нейросетей, реализуя бесконтактный способ получения необходимых изображений, поскольку камеры могут заменить функцию визуализации человеком.

При разработке автоматизированной технологии оценки внешних параметров птицы и яиц можно использовать два подхода к получению трехмерных изображений для решения задач цифровизации:

- получение изображений с помощью одной 3D-камеры, закрепленной в одном месте;

- съемка с разных точек с использованием нескольких 3D-камер, которые фиксируют изображения и отдельные их части.

Особенности, извлекаемые из изображений, называемые дорсальными чертами, используются в качестве входных данных для моделей. Полученные изображения можно использовать для различных моделей глубокого обучения и для целей идентификации [233].

Метод промеров (анализ линейных параметров) является достаточно объективным и точным при оценке изучаемых показателей по сравнению с глазомерной оценкой отдельных статей (частей), хотя и не дает такого полного представления о птице в целом, как при ее осмотре, но является дополнением визуального анализа. Объективность и точность этого метода довольно относительны, так как взятие промеров связано с погрешностями и неточностями, в определенной степени зависит от субъективных факторов и используемых приборов.

В агропромышленном комплексе России существует запрос на технологии цифровизации процесса сбора, анализа и оценки линейных параметров экстерьера животных, а также анализа, оценки и сортировки пищевых и инкубационных яиц [1, 144, 155]. Переход от субъективной ручной работы с ис-

пользованием программ для расчета необходимых показателей к унифицированной автоматической позволит существенно увеличить производительность и точность проведения подобных операций.

В течение длительного периода эволюционных изменений, яйцо сельскохозяйственной птицы сохраняло свое биологическое совершенство, идеальную гармоничность формы и состава. Создание высокопродуктивных кроссов с измененным генотипом, переход на кормление птицы с использованием комбикормов промышленного производства, изоляция птицы от микроклимата естественной среды привели к существенным биологическим изменениям яйца. Яйцо стало тяжелее, его форма округлилась, тоньше стала скорлупа, существенно повысилось относительное содержание белка.

Важным показателем качества являются морфометрические и морфофизические параметры яиц, которые влияет на сохранность скорлупы и имеют товарное значение и очень важно при оценке инкубационных характеристик, так как стандартные яйца более устойчивы к бою при отборе, сортировке и транспортировке, от них получают однородных по массе суточных цыплят [155, 233].

Ученые исследователи из Кентского университета (Англия), разработали универсальную математическую формулу, которая может описать любое яйцо птиц, существующее в природе [295].

Яйцевидная форма с аналитической точки зрения давно привлекает внимание не только биологов, но и математиков, инженеров, а также специалистов ряда других профессий. Форма яйца была высоко оценена за ее эволюцию как достаточно большая, чтобы инкубировать эмбрион, достаточно маленькая, чтобы выйти из тела наиболее эффективным способом, а не откатиться после укладки, достаточно прочная, чтобы выдержать вес и стать началом жизни для птенцов. Математическое описания всех основных форм яиц уже нашли применение в исследованиях продуктов питания, машиностроении, сельском хозяйстве, биологических науках, архитектуре и аэронавтике [295, 296].

Даррен Гриффин, профессор генетики в Университете Кента, сказал: «Биологические эволюционные процессы, такие как образование яйцеклеток (яиц), их пищевые и инкубационные качества представляют определенный интерес при использовании для математического описания в качестве основы для исследований в эволюционной биологии» [295, 296].

Таким образом, основными факторами, стимулирующими моделирование и внедрение автоматизации и цыфровизации в птицеводстве, включают:

- растущий спрос на продукцию птицеводства. Увеличение численности населения мира и изменение пищевых привычек приводят к постоянному росту потребления мяса птицы и яиц. Для удовлетворения этого спроса требуются более эффективные, масштабируемые и стандартизированные методы производства [251];

- рост затрат на рабочую силу и дефицит квалифицированного труда. Увеличение стоимости ручного труда и его дефицит в сельскохозяйственном секторе делают автоматизацию экономически выгодной и обеспечивающую высокую рентабельность [233];

- необходимость повышения эффективности производства и производительности труда. Автоматизация минимизирует человеческие ошибки, обеспечивает стабильность и предсказуемость операций, а также повышает общую производительность на всех этапах производственного цикла [233, 246];

- быстрые достижения в технологиях. Непрерывное развитие Интернета вещей (IoT), искусственного интеллекта (ИИ), машинного обучения и робототехники делает автоматизированные решения более доступными, точными, функциональными и экономически эффективными [257].

Внедрение "умных" технологий в птицеводстве не только улучшает производственные и селекционные процессы, но и способствует переходу к более устойчивым моделям производства. Автоматизация, движимая экономической необходимостью, способствует к более устойчивым и экологически чистым практикам, а именно оптимизированному использованию всех ресурсов,

в том числе племенных, и сокращению отходов. Эти факторы являются стимулом для автоматизации и цыфровизации в птицеводческой отрасли [246].

3.3.2 Применение цифровых информационных технологий в птицеводстве

Современное птицеводство переходит от субъективных визуальных методов к объективным цифровым измерениям. Информационные технологии позволяют заменить глазомерную оценку и измерение промеров вручную точными, воспроизводимыми и автоматизированными методами сбора данных [325]. Основой выступают три группы технологий: компьютерное зрение (анализ фото- и видеоизображений), методы машинного обучения (распознавание образов) и цифровая обработка сигналов (измерение геометрических параметров) [303, 325].

Применение к оценке экстерьера кур цифровые технологии работают следующим образом:

1. Получают изображение птицы путем фотографирования с нескольких ракурсов (сбоку, сверху) в стандартных условиях освещения и на калиброванном фоне.

2. Специальные программы (на основе нейросетей) самостоятельно находят на снимке ключевые части тела: последний шейный позвонок и конец копчика, передний край киля и грудная часть позвоночника, наружные выступы плечелопаточных сочленений, наружные выступы тазобедренных сочленений, передний и задний крайние точки киля, соединение голени и плюсны до начала пальцев для распознавания анатомических точек [303, 325].

3. На основе координат этих точек компьютер вычисляет расстояния между ними (длину спины, глубину груди, ширину груди, длину киля, ширину таза, длина плюсны) и автоматически рассчитывает экстерьерные индексы (например, индекс типа телосложения, индекс туловища) [325].

4. Сравнение с эталоном — полученные цифровые профили сравниваются с идеальными для данной породы или кросса значениями, после чего программа ранжирует птицу по классам (отбраковка, удовлетворительно, хорошо, отлично).

Преимущества для птицеводства:

- Исключается человеческая ошибка и усталость оценщика [325].
- Птица не испытывает стресса от ловли и ручных измерений [303].
- Можно обрабатывать тысячи голов за короткое время (например, прогоняя птицу через камерный тоннель) [222].
- Возможность вести цифровую историю каждой особи в динамике (изменение телосложения, развитие с возрастом продуктивных признаков).

Применительно морфометрии яиц цифровые технологии работают следующим образом:

1. Получение изображения яйца — яйцо размещается перед камерой (часто на вращающемся ролике, чтобы снять со всех сторон). Используется контрастный фон и равномерное освещение.

2. Сегментация (выделение контура) — программа отделяет изображение яйца от фона, строит его точный контур.

3. Автоматическое измерение — компьютер мгновенно определяет длину по длинной оси, ширину по короткой оси, рассчитывает индекс формы (норма для куриного яйца — около 73–78 %), объем (по эмпирическим формулам на основе длины и ширины) и асимметрию (насколько яйцо вытянуто к острому или тупому концу).

4. Анализ поверхности — алгоритмы машинного обучения выявляют микротрещины, неоднородности скорлупы, поры, участки истончения (мраморность), наросты. Некоторые системы также определяют цвет скорлупы в цифровых координатах RGB [235, 303].

Связь с биологией и производством:

- Яйца с оптимальным индексом формы дают лучшую выводимость и более здоровых цыплят [235].

- Слишком удлиненные или округлые яйца часто имеют пониженный инкубационный потенциал.

- Трещины и мраморность делают яйцо непригодным для инкубации и снижают его товарную категорию.

- Преимущества:

- Скорость измерения — доли секунды на одно яйцо (вручную это 15–20 секунд).

- Высокая точность и повторяемость результатов [228].

- Возможность сортировки яиц в реальном времени на конвейере (инкубационные → пищевые → отбраковка) [235].

- Создание баз данных для селекции – выявление несушек, которые стабильно дают яйца неправильной формы [235].

Общая ценность для отрасли

Внедрение цифровых технологий для оценки экстерьера и морфометрии яиц позволяет:

1. Повысить объективность селекции – отбор лучших особей ведется не «на глаз», а по точным цифровым критериям [303, 325].

2. Ускорить процессы – ручные измерения заменяются автоматическими в сотни раз быстрее.

3. Снизить трудозатраты – освобождается время квалифицированных зоотехников [222].

4. Накопить большие данные – анализне не менее тысяч голов птиц и штук яиц позволяет выявить скрытые корреляции между внешним видом и продуктивностью.

5. Автоматизировать выбраковку – система сама отбраковывает яйца не пригодные к инкубации.

Таким образом, применение цифровых технологий обеспечивает трансформацию оценки экстерьера и морфометрии яиц из области глазомерной оценки в сферу точных инженерных методов, что представляет собой одно из приоритетных направлений цифровой трансформации птицеводства.

3.3.3 Построение математической модели оценки экстерьера кур-несушек и морфометрических параметров яиц по трехмерным изображениям

Для автоматизации селекционно-племенной работы в птицеводстве необходимо заменить субъективные визуальные методы оценки объективными количественными измерениями. Традиционный подход, основанный на ручном взятии промеров с использованием линейки, штангенциркуля и весов, характеризуется высокими временными затратами, низкой воспроизводимостью результатов и не позволяет осуществлять непрерывный мониторинг поголовья. В связи с этим актуальной задачей является разработка математической модели, обеспечивающей автоматизированное извлечение экстерьерных и морфометрических характеристик из цифровых изображений, полученных с использованием систем технического зрения.

Предлагаемая математическая модель базируется на обработке трёхмерных данных, формируемых стереокамерами глубины, и включает в себя последовательную реализацию этапов фильтрации, сегментации, нормализации позы, детекции анатомических ориентиров на основе регрессии тепловых карт, 3D-реконструкции ключевых точек с последующим вычислением линейных промеров, индексов телосложения, а также определением морфометрических параметров яиц. Ниже представлено детальное описание каждого этапа преобразования.

Процесс оценки экстерьера представляет собой многоэтапное преобразование:

1. Получение первичных данных – формирование карты глубины и RGB-изображения.

2. Детекция ключевых точек – определение координат анатомических ориентиров.

3. Вычисление линейных промеров – расчет расстояний между точками в 3D-пространстве.

4. Расчет индексов телосложения – вычисление безразмерных величин, характеризующих пропорции.

5. Интегральная оценка – определение типа телосложения и племенной ценности.

Вычислительная реализация.

Алгоритм обработки изображения включает следующие шаги:

1. Медианная фильтрация для удаления шума.

Первичные данные, получаемые от стереокамеры глубины в виде карты глубины D*D*, неизбежно содержат шумы и выбросы. Данные искажения обусловлены как физическими ограничениями сенсора, так и условиями окружающей среды. Для повышения качества данных и обеспечения надежности последующих этапов анализа изображений применяется процедура предварительной фильтрации.

В качестве основного метода шумоподавления выбрана медианная фильтрация. Данный метод относится к классу нелинейных фильтров и обладает высокой эффективностью при удалении импульсного шума при одновременном сохранении перепадов яркости (границ объекта), что критически важно для сохранения морфологической структуры изображения птицы.

Процедура фильтрации описывается следующим выражением:

$$D_{filtered}(u,v) = median\{D(u+i, v+j) \mid (i,j) \in \Omega\} \quad (24)$$

где $D(u,v)$ - исходная карта глубины, где каждому пикселю с координатами (u,v) сопоставлено значение расстояния до объекта в миллиметрах; $Dfiltered(u,v)$ - отфильтрованное (сглаженное) значение глубины в точке (u,v), очищенное от шумовых выбросов; Ω – окно фильтра, представляющее собой множество целочисленных смещений (i,j) относительно центрального пикселя. Размер окна определяет пространственную окрестность, учитываемую при фильтрации.

Оператор median обозначает нахождение медианного значения среди всех элементов множества, попавших в окно Ω.

Выбор медианного фильтра обоснован его способностью устранять аномальные выбросы, не создавая новых значений, отсутствовавших в исходной выборке. В отличие от линейных фильтров (например, среднего арифметического), медианный фильтр не приводит к размытию границ между объектом и фоном, что позволяет сохранить точность контура птицы для последующей сегментации. Типичный размер окна фильтра (Ω) подбирается эмпирически и зависит от разрешения изображения и уровня шума; для решения поставленной задачи оптимальным признано окно размером 3×3 пикселя, обеспечивающее компромисс между степенью сглаживания и сохранением мелких деталей экстерьера.

2. Выделение силуэта птицы пороговой обработкой.

После устранения шумовых артефактов с помощью медианной фильтрации следующим этапом обработки является выделение исследуемой области – силуэта птицы. Для отделения объекта съемки от фона используется метод пороговой обработки, основанный на анализе карты глубины *Dfiltered*. Применение глубины в качестве сегментирующего признака обусловлено физической организацией сцены: объект исследования располагается существенно ближе к камере, чем элементы фонового пространства.

Процедура пороговой сегментации заключается в попиксельной классификации и формализуется следующим выражением:

$$Mask(u,v) = \begin{cases} 1, \text{если } D(u,v) < D_{\text{фон}} \\ 0, \text{иначе} \end{cases} \quad (25)$$

где $Mask_{(u,v)}$ – бинарная маска изображения, представляющая собой матрицу, размерность которой совпадает с размерностью исходного кадра; $D_{(u,v)}$ – значение глубины (расстояние от камеры до объекта) в пикселе с координатами (u,v), измеряемое в миллиметрах; $D_{\text{фон}}$ – пороговое значение глубины (порог отсечения), определяющее границу разделения переднего плана (птицы) и фона.

Результатом обработки является бинарное изображение, в котором:

- Значение 1 (истина) присваивается пикселям, соответствующим объекту интереса. Условием отнесения к данному классу является нахождение точки на расстоянии, заведомо меньшем, чем расстояние до фона $D_{(u,v)}<D_{\text{фон}}$. Такие пиксели формируют область силуэта птицы.

- Значение 0 (ложь) присваивается всем остальным пикселям, которые интерпретируются как фоновые и исключаются из дальнейшего анализа.

Выбор порога $D_{\text{фон}}$ осуществляется на этапе калибровки сцены. Данное значение устанавливается эмпирически, исходя из реального расстояния от камеры до элементов конструкции, в котором происходят исследования, и фиксируется для всей серии измерений. Корректный выбор порога является критическим фактором: заниженное значение может привести к «обрезанию» частей тела птицы, в то время как завышенное — к захвату элементов фона и появлению ложных контуров, что негативно скажется на точности последующего детектирования ключевых точек.

Полученная бинарная маска $Mask(u,v)$ используется для ограничения области поиска анатомических ориентиров, что позволяет существенно повысить вычислительную эффективность алгоритма и снизить вероятность ложных срабатываний нейросетевой модели.

3. Приведение к стандартной ориентации с использованием главных компонент.

Полученное в результате сегментации трехмерное облако точек, соответствующее поверхности птицы, характеризуется произвольной ориентацией в пространстве. Данный фактор обусловлен естественной вариабельностью позы животного в момент съемки и его положением относительно камеры. Для обеспечения инвариантности последующих измерений к ракурсу и пространственному положению объекта выполняется процедура нормализации позы, основанная на анализе главных компонент (Principal Component Analysis, PCA).

Целью нормализации является приведение облака точек к стандартизованной системе координат, в которой главные оси инерции объекта совмещаются с осями координатной системы. Данный подход позволяет минимизировать внутривыборочную вариацию, обусловленную различиями в позах, и обеспечить сопоставимость морфометрических параметров для разных особей.

Процедура нормализации выполняется в два этапа и описывается следующим выражением:

$$p' = R(\theta) \cdot \left(p - p_{\text{Ц}}\right), \tag{26}$$

где p – вектор координат исходной точки облака, $p_{ц}$ - вектор координат центра масс объекта, $R(\theta)$ — матрица поворота, p' — вектор координат точки после нормализации.

На первом этапе выполняется перенос начала координат в центр масс объекта. Центр масс представляет собой геометрический центр облака точек и вычисляется как среднее арифметическое координат всех N точек, принадлежащих сегментированному объекту:

$$p_{\text{Ц}} = \left(\frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N} X_k\,,\ \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N} Y_k\,,\ \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N} Z_k\right), \tag{27}$$

где X_k, Y_k, Z_k - координаты k-й точки облака в исходной системе координат, связанной с камерой.

Операция вычитания центроида $\left(p - p_{\text{Ц}}\right)$ обеспечивает трансляцию всех точек объекта таким образом, что центр масс совмещается с началом глобальной системы координат (0,0,0). Данное преобразование устраняет зависимость координат от положения птицы в кадре, сохраняя при этом информацию о её форме.

На втором этапе выполняется поворот центрированного облака точек для приведения его к стандартной ориентации. Матрица поворота $R(\theta)$ строится на основе анализа главных компонент ковариационной матрицы облака точек.

Алгоритм PCA позволяет определить три ортогональных направления (главные компоненты), вдоль которых дисперсия распределения точек максимальна:

1) первая главная компонента соответствует направлению наибольшей протяженности объекта;

2) вторая главная компонента ортогональна первой и соответствует направлению следующей по величине протяженности (ширине объекта);

3) третья главная компонента ортогональна первым двум и соответствует направлению наименьшей изменчивости (высоте объекта).

Углы поворотаθ определяются таким образом, чтобы первая главная компонента совпала с осью X глобальной системы координат, вторая — с осью Y, а третья — с осью Z. Результирующая матрица поворота $R(\theta)$ применяется ко всем точкам облака, обеспечивая единообразную пространственную ориентацию всех анализируемых объектов независимо от их исходного положения.

В результате применения описанного преобразования формируется нормализованное облако точек p', для которого:

- Центр масс расположен в начале координат;
- Продольная ось объекта совмещена с осью X;
- Поперечная ось совмещена с осью Y;
- Вертикальная ось совмещена с осью Z.

Нормализация позы является критически важным этапом предобработки, поскольку она обеспечивает возможность корректного сопоставления координат ключевых точек для различных особей и создания эталонных шаблонов для последующего детектирования анатомических ориентиров.

4. Детекция ключевых точек тепловыми картами.

Для обучения нейросетевой модели локализации точек, обозначающие размеры на изображении птицы, используется метод регрессии тепловых карт.

Данный подход является более предпочтительным по сравнению с прямой регрессией координат, так как обеспечивает пространственную обобщающую способность и устойчивость к шумам.

В процессе подготовки обучающей выборки для каждой i-й ключевой точки задаются эталонные координаты (u_i,v_i) в пиксельной системе координат. На основе этих координат синтезируется эталонная тепловая карта H_i, представляющая собой двумерное распределение вероятности нахождения целевой точки. Значение каждого пикселя на тепловой карте определяется функцией Гаусса:

$$H_i(u,v) = exp\left(-\frac{(u-u_i)^2+(v-v_i)^2}{2\sigma^2}\right), \quad (28)$$

где (u,v) - координаты текущего пикселя; σ –среднеквадратическое отклонение Гауссова ядра.

Параметр σ играет важную роль в процессе обучения. Он определяет радиус окрестности вокруг эталонной точки, в пределах которой значения тепловой карты значимо отличаются от нуля. Выбор значения σ осуществляется эмпирически и влияет на сходимость модели:

- при малых значениях σ Гауссово пятно приближается к точечному импульсу. В таком случае любое отклонение предсказанной тепловой карты от эталонной более чем на 1 пиксель приводит к значительной ошибке, что затрудняет обучение модели и может вызывать нестабильность градиентов.
- при оптимальном значении σ формируется «размытое» пятно, которое создает плавный градиент потерь. Это позволяет модели обучаться более эффективно, так как предсказание пикселей в непосредственной близости от истинной точки также считается верным, хоть и в меньшей степени. Такой подход обеспечивает компромисс между точностью локализации и устойчивостью процесса обучения.

Выходной слой нейросети спроектирован таким образом, чтобы генерировать M тепловых карт (по количеству детектируемых ключевых точек). В процессе обучения минимизируется функция потерь между предсказанными

сетью картами $\widehat{H_i}$ и эталонными картами H_i. В ходе работы нейросетевой модели обработки изображения координаты ключевой точки u_i^*, v_i^* определяются путем нахождения аргумента максимума на соответствующей предсказанной тепловой карте:

$$(u_i^*, v_i^*) = arg\ max_{u,v} \widehat{H_{u,v}}. \quad (29)$$

Использование тепловых карт позволяет нейросети эффективно обучаться на размеченных данных, учитывая пространственный контекст изображения, что критически важно для точной локализации промеров сельскохозяйственной птицы.

5. Преобразование 2D-координат ключевой точки в 3D. Для перехода от двухмерных координат ключевых точек, детектированных нейросетевой моделью на RGB-изображении, к их реальным пространственным координатам используется процедура 3D-реконструкции на основе данных карты глубины и параметров калибровки камеры.

Пусть для некоторой i-й ключевой точки нейросетевой детектор определяет её координаты на плоском изображении как $q_i^{2D} = (u, v_i)$,

где u_i, v_i — координаты в пикселях вдоль горизонтальной и вертикальной осей изображения соответственно. Этим координатам соответствует значение глубины d_i, извлекаемое из синхронизированной карты глубины D (u_i, v_i). Величина d_i представляет собой расстояние от плоскости камеры до объекта в миллиметрах.

С использованием внутренних параметров камеры, полученных в результате процедуры калибровки (оптический центр (c_x, c_y) и фокусные расстояния (f_x, f_y), выполняется преобразование в трехмерное пространство:

$$q_i^{3D} = \left(\frac{(u_i - c_x)\cdot di}{f_x}, \frac{(u_i - c_y)\cdot di}{f_y}, di\right), \quad (30)$$

где $q_i^{3D} = (X_i, Y_i, Z_i)$ – вектор координат i-й ключевой точки в метрической системе координат, связанной с камерой.

Компоненты вектора расшифровываются следующим образом:

- Координата Z_i (глубина) непосредственно соответствует измеренному значению d_i и определяет расстояние до объекта по оптической оси камеры:

$$Z=d_i(Z)=d_i. \quad (31)$$

- Координата X_i (горизонтальное смещение) вычисляется как нормированное отклонение пикселя от оптического центра, масштабированное на глубину:

$$X_i = \frac{(u_i - c_x)\cdot di}{f_x}. \quad (32)$$

Данная величина характеризует положение точки в горизонтальной плоскости относительно оптической оси камеры.

- Координата Y_i (вертикальное смещение) рассчитывается аналогично для вертикальной оси:

$$Y_i = \frac{(u_i - c_y)\cdot di}{f_y}. \quad (33)$$

6. Вычисление промеров как евклидовых расстояний между q_i^{3D}.

Пусть $\{q_A\}$ и $\{q_B\}$ - координаты двух анатомических ориентиров. Тогда промер L:

$$L = \|q_A - q_B\| = \sqrt{(X_A - X_B)^2 + (Y_A - Y_B)^2 + (Z_A - Z_B)^2}. \quad (34)$$

Основные промеры приведены в таблице 11.

Таблица 11 - Основные промеры для кур-несушек

Промер	Обозначение	Точки
Длина туловища	L(ДТ)	от плечелопаточного сочленения до седалищного бугра
Глубина груди	L(ГГ)	от спинной линии до киля груди
Ширина груди	L(ШГ)	между плечелопаточными сочленениями
Длина киля	L(ДКл)	от переднего до заднего края киля
Длина плюсны	L(ДП)	от скакательного сустава до пальцев

Промер	Обозначение	Точки
Ширина таза в маклоках	L(ШМ)	расстояние между лонными костями

Расчет индексов телосложения.

Индексы телосложения являются безразмерными величинами, характеризующими пропорции тела:

- Индекс массивности — отношение живой массы к длине туловища:

$$I_m = \frac{m}{L(\text{ДТ})} \cdot 100\%, \quad (35)$$

где m – живая масса, г.

- Индекс широкогрудости — отношение ширины груди к глубине груди:

$$I_\text{г} = \frac{L(\text{ШГ})}{L(\text{ГГ})} \cdot 100\%. \quad (36)$$

- Грудной индекс — отношение ширины груди к длине киля:

$$I_\text{гр} = \frac{L(\text{ШГ})}{L(\text{ДКл})} \cdot 100\%. \quad (37)$$

Индекс типа телосложения ИТ:

$$\text{ИТ} = \frac{L(\text{ДКл})}{(L(\text{ДК}) \cdot L(\text{ГГ}) \cdot L(\text{ШМ}) + (L(\text{ДТ}) - L(\text{ДКл})) \cdot L(\text{ШМ}) \cdot L(\text{ГГ})^{\frac{1}{3}}}. \quad (38)$$

Данный индекс представляет собой отношение длины киля к кубическому корню из суммы произведений промеров, характеризующих объем туловища. Такая формула индекса типа телосложения показателя позволяет нивелировать различия в абсолютных размерах птицы и оценить именно пропорциональность телосложения.

Увеличение значения индекса свидетельствует о преобладании развития передней части туловища (грудных мышц) над общими габаритами, что характерно для особей мясного типа продуктивности. Напротив, более низкие значения ИТ указывает на вытянутое, менее массивное телосложение, свойственное курам яичного направления.

Показатели качества модели.

Точность измерений оценивается следующими метриками:

1. Средняя абсолютная ошибка линейных промеров:

$$MAE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left|L_i - \widehat{L_i}\right|, \quad (39)$$

где L_i — измеренное значение, $\widehat{L_i}$ — эталонное значение.

2. Относительная погрешность:

$$\delta = \frac{|L-\hat{L}|}{\hat{L}} \cdot 100\%. \quad (40)$$

3. Коэффициент вариации при повторных измерениях:

$$CV = \frac{\sigma}{\mu} \cdot 100\%, \quad (41)$$

где σ – стандартное отклонение, μ – среднее значение.

4. Точность классификации типа телосложения:

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN}, \quad (42)$$

где TP (True Positive – Истинно-положительное решение): модель правильно предсказала наличие объекта или принадлежность к целевому классу; TN (True Negative – Истинно-отрицательное решение): модель правильно предсказала отсутствие объекта или принадлежность к «не-целевому» классу; FP (False Positive – Ложноположительное решение – ошибка I рода): модель ошибочно предсказала наличие объекта или принадлежность к целевому классу, в то время как в действительности объект относится к другому классу (отрицательному); FN (False Negative – Ложноотрицательное решение - ошибка II рода): модель ошибочно предсказала отсутствие объекта или принадлежность к «не-целевому» классу, в то время как в действительности объект относится к целевому классу (положительному).

Наряду с оценкой экстерьера кур-несушек важной задачей автоматизированной селекционно-племенной работы является количественное описание морфологических характеристик яиц. Форма, размеры, объем и другие геометрические параметры яйца служат косвенными показателями для прогнозирования пола эмбриона. Для получения указанных характеристик из трёхмерных

данных, формируемых системой технического зрения, необходима разработка специализированного математического аппарата, учитывающего асимметричную форму яйца и позволяющего вычислять как линейные, так и объемные параметры с высокой точностью.

Процесс определения морфометрических параметров яйца представляет собой многоэтапное преобразование:

1. Получение первичных данных – формирование карты глубины и RGB-изображения с помощью стереокамеры.
2. Сегментация объекта – выделение контура яйца на изображении.
3. 3D-реконструкция поверхности – преобразование карты глубины в облако точек, описывающее трехмерную форму яйца.
4. Аппроксимация геометрической формы – представление яйца как тела вращения с переменным радиусом.
5. Вычисление морфометрических параметров – расчет линейных, и объемных характеристик.

Первые три пункта проводятся аналогично, как и при обработке изображений кур.

Аппроксимация геометрической формы яйца определяется следующим образом:

1. Определение главной оси. Для облака точек P определяется продольная ось яйца с помощью анализа главных компонент (PCA). Вычисляется ковариационная матрица:

$$C = \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N}(p_k - \bar{p})(p_k - \bar{p})^T, \quad (43)$$

где $\{p\} = \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N} p_k$ – центроид облака точек.

Собственный вектор V_1, соответствующий наибольшему собственному значению, определяет направление продольной оси яйца. Собственные векторы V_2 и V_3 задают поперечные направления.

2. Определение профиля яйца как функция радиуса.

Форма яйца аппроксимируется как тело вращения с переменным радиусом $r_{(z)}$ вдоль продольной оси z. Для этого выполняется преобразование координат:

$$z_k = (p_k - \bar{p}) \cdot v_1 \tag{44}$$

$$r_k = ((p_k - \bar{p}) \cdot v_2)^2 + ((p_k - \bar{p}) \cdot v_3)^2 \tag{45}$$

где z_k – координата вдоль продольной оси, r_k – радиус в поперечном сечении.

Профиль яйца описывается функцией $r_{(z)}$, которая аппроксимируется моделью Хюльсена [296]:

$$r_{(z)} = r_{max}\sqrt{1 - \left(\frac{z - z_0}{\frac{L}{2}}\right)^2} \cdot \left(1 + \alpha \cdot \frac{z - z_0}{\frac{L}{2}} + \beta \cdot \left(\frac{z - z_0}{\frac{L}{2}}\right)^2\right) \tag{46}$$

где L – длина продольного сечения, z_0 – положение максимального радиуса, α, β – параметры асимметрии.

Определение морфометрических параметров.

1. Большой диаметр (длина продольного сечения) – расстояние между двумя крайними точками вдоль продольной оси:

$$L = \max(z) - \min(z). \tag{47}$$

2. Малый диаметр (ширина яйца) D – максимальный диаметр в поперечном сечении:

$$D = 2 \cdot \max(r(z)). \tag{48}$$

3. Длина большой полуоси продольного сечения a – половина большого диаметра:

$$a = \frac{L}{2}. \tag{49}$$

4. Длина малой полуоси продольного сечения b – половина малого диаметра:

$$b = \frac{D}{2}. \tag{50}$$

5. Длина большой окружности C_{large} – длина эллипса в продольном сечении (аппроксимация Рамануджана):

$$C_{large} \approx \pi[3(a + b) - \sqrt{(3a + b)(a + 3b)}]. \tag{51}$$

6. Длина малой окружности C_{small} – длина окружности поперечного сечения в месте максимального диаметра:

$$C_{small} = \pi D. \quad (52)$$

7. Площадь продольного сечения S_{long}. Продольное сечение яйца, проходящее через его продольную ось, по форме близко к эллипсу, однако вследствие естественной асимметрии (наличия острого и тупого концов) не является идеальной эллиптической фигурой. Для повышения точности определения площади продольного сечения предложен метод, учитывающий различия в кривизне двух половин яйца, разделённых плоскостью, проходящей через центр масс перпендикулярно продольной оси.

В рамках данного подхода продольное сечение аппроксимируется двумя полуэллипсами, каждый из которых имеет собственную геометрию:

- передняя часть (со стороны острого конца) аппроксимируется полуэллипсом с полуосями L_1 (большая полуось продольного сечения) и b;
- задняя часть (со стороны тупого конца) аппроксимируется полуэллипсом с полуосями L_2 (малая полуось продольного сечения) и b.

Здесь L_1 – расстояние от центра масс (точки максимальной ширины) до острого конца вдоль продольной оси; L_2 – расстояние от центра масс до тупого конца вдоль продольной оси. При этом выполняется соотношение $L=L_1+L_2$. Положение центра масс определяется как координата z_0, в которой радиус $r(z)$ максимален.

Общая площадь продольного сечения S_{long} вычисляется как сумма площадей двух полуэллипсов, усреднённая для учёта плавности перехода между ними:

$$S_{long} = \frac{(L_1 \cdot b \cdot \pi + L_2 \cdot b \cdot \pi)}{2}. \quad (53)$$

8. Площадь поперечного сечения S_{trans} – площадь круга диаметром D в месте максимальной ширины:

$$Strans = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2. \quad (54)$$

9. Объём яйца V. Для повышения точности расчета объема яйца с учетом его естественной асимметрии (наличия острого и тупого концов) используется аппроксимация геометрической формы двумя несимметричными полуэллипсоидами. Данный подход основан на разделении продольной оси яйца на две части плоскостью, проходящей через центр масс поперечного сечения:

$$\mathrm{V} = \frac{2}{3}\pi L_1 b^2 + \frac{2}{3}\pi L_2 b^2. \quad (55)$$

10. Площадь поверхности. Яйцо рассматривается как тело вращения, состоящее из двух частей, разделённых плоскостью, проходящей через центр масс поперечного сечения. Каждая часть аппроксимируется полуэллипсоидом вращения с длинами L_1 и L_2 вдоль продольной оси.

Общая площадь поверхности S вычисляется как сумма площадей поверхности двух полуэллипсоидов (острой и тупой частей): $S=S_{\text{острый}} + S_{\text{тупой.}}$

Для полного эллипсоида вращения с экваториальной полуосью b и полярной полуосью a площадь поверхности вычисляется по обобщённой формуле Рамануджана с показателем p=1,6075:

$$S_{\text{элл}} = 4\pi\left(\frac{b^{2p}+2b^p a^p}{3}\right)^{\frac{1}{p}}, p = 1{,}6075. \quad (56)$$

Для полуэллипсоида (половины эллипсоида, отсечённой плоскостью, перпендикулярной полярной оси и проходящей через центр) площадь внешней боковой поверхности составляет ровно половину площади поверхности полного эллипсоида, так как форма является телом вращения и сечение проходит через центр симметрии эллипсоида. Плоскость сечения не добавляет площади к внешней поверхности яйца (внутренняя граница раздела не учитывается).

Следовательно,

$$S_{\text{полуэллипсоида}} = 2\pi\left(\frac{b^{2p}+2b^p a^p}{3}\right)^{\frac{1}{p}}. \quad (57)$$

Для острой и тупой частей яйца

Для острой части (от центра масс до острого конца):

$$S_{\text{ост}} = 2\pi \left(\frac{\left(\frac{D}{2}\right)^{3,215} + 2\left(\frac{D}{2}\right)^{1,6075} L_1^{1,6075}}{3} \right)^{\frac{1}{1,6075}}. \quad (58)$$

Для тупой части (от центра масс до тупого конца):

$$S_{\text{туп}} = 2\pi \left(\frac{\left(\frac{D}{2}\right)^{3,215} + 2\left(\frac{D}{2}\right)^{1,6075} L_2^{1,6075}}{3} \right)^{\frac{1}{1,6075}}. \quad (59)$$

Общая формула площади поверхности яйца:

$$S = 2\pi \left(\frac{\left(\frac{D}{2}\right)^{3,215} + 2\left(\frac{D}{2}\right)^{1,6075} L_1^{1,6075}}{3} \right)^{\frac{1}{1,6075}} + 2\pi \left(\frac{\left(\frac{D}{2}\right)^{3,215} + 2\left(\frac{D}{2}\right)^{1,6075} L_2^{1,6075}}{3} \right)^{\frac{1}{1,6075}} \quad (60)$$

11. Угол острого конца. Угол острого конца α определяется как угол между касательными к профилю яйца в точке его заострения (обычно на расстоянии z_{tip} от центра):

Алгоритм вычисления внешнего угла острого конца:

- На изображении определяется точка вершины острого конца V_{sharp} как точка контура с минимальной координатой y:

$$V_{sharp} = arg\ min_{(x,y)\epsilon\partial\Omega}\, y, \quad (61)$$

где $\partial\Omega$ – множество точек контура яйца; $V_{sharp} = \left(x_{sharp}, y_{sharp}\right)$ – координаты вершины острого конца.

- На контуре выделяются две точки P_1 и P_2, отстоящие от вершины на расстояние $d = k \cdot L$, где, k — коэффициент (обычно $k = 0{,}05 \ldots 0{,}10$).

- Через точки P_1 и P_2 проводятся касательные к контуру.

- Вычисляется угол между касательными.

Параметрическое уравнение контура яйца задано уравнением $r(s) = \left(x(s), y(s)\right)$, где s — длина дуги, отсчитываемая от вершины острого конца V_{sharp} при s=0.

Тогда внешний угол острого конца определяется как:

$$\alpha = \arccos\left(\frac{t(s_1)\cdot t(s_2)}{\|t(s_1)\|\cdot\|t(s_1)\|}\right), \quad (62)$$

где $t(s) = \frac{dr(s)}{ds}$ — единичный касательный вектор в точке $r(s)$; $s_1 = d_1$, $s_2 = d_2$ — расстояния от вершины до точек P_1 и P_2.

Точность измерений оценивается выражениями (ссылка на формулы) и коэффициентом детерминации R^2:

Коэффициент детерминации R^2 для регрессионных зависимостей:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(L_i - \widehat{L_i})^2}{\sum_{i=1}^{n}(L_i - \overline{L_i})^2}, \quad (63)$$

где $\overline{L_i}$ – среднее арифметическое реальных значений.

Калибровка и масштабирование.

Для перехода от пиксельных размеров к физическим (миллиметрам) используется калибровочный коэффициент, определяемый по эталонному объекту известного размера:

$$S = \frac{L_{\text{эталон}}}{L_{\text{пикс}}}, \quad (64)$$

где $L_{\text{эталон}}$ – физический размер эталона, $L_{\text{пикс}}$ – его размер в пикселях после сегментации.

Все линейные размеры в физических единицах получаются умножением пиксельных размеров на калибровочный коэффициент:

$$L_{\text{физ}} = s \cdot L_{\text{пикс}}. \quad (65)$$

3.3.4 Результаты работы программы по оценке экстерьера кур-несушек и морфометрических параметров яиц

Для проверки работоспособности разработанной регрессионной нейросетевой модели был проведен эксперимент на контрольной группе кур-несушек кросса «Ломанн Браун Классик» в возрасте 17 недель (период перевода в родительское стадо). Эксперимент включал три этапа: сбор исходных данных с использованием разработанного программного модуля, выполнение прогноза и сравнение полученных результатов с фактической яйценоскостью за первые 4 недели продуктивного периода (21–25 недель).

Для 50 голов ремонтного молодняка были получены цифровые изображения в двух проекциях (боковой вид и вид сверху) с помощью цифрового фотоаппарата, установленного на штативе. В кадре каждого изображения размещался перспектометр (масштабная линейка) для последующей калибровки.

Автоматическая разметка и расчет промеров выполнялись с использованием разработанной программы для определения промеров кур (рисунок 8). Алгоритм работы программы включал:

- детекцию ключевых анатомических точек на изображении;
- выделение масштабной линейки;
- расчет физических размеров (в см) по соотношению пиксельных размеров к длине эталона.

Для каждой птицы были получены следующие экстерьерные параметры: глубина груди; длина киля; ширина в маклоках; ширина груди; длина туловища.

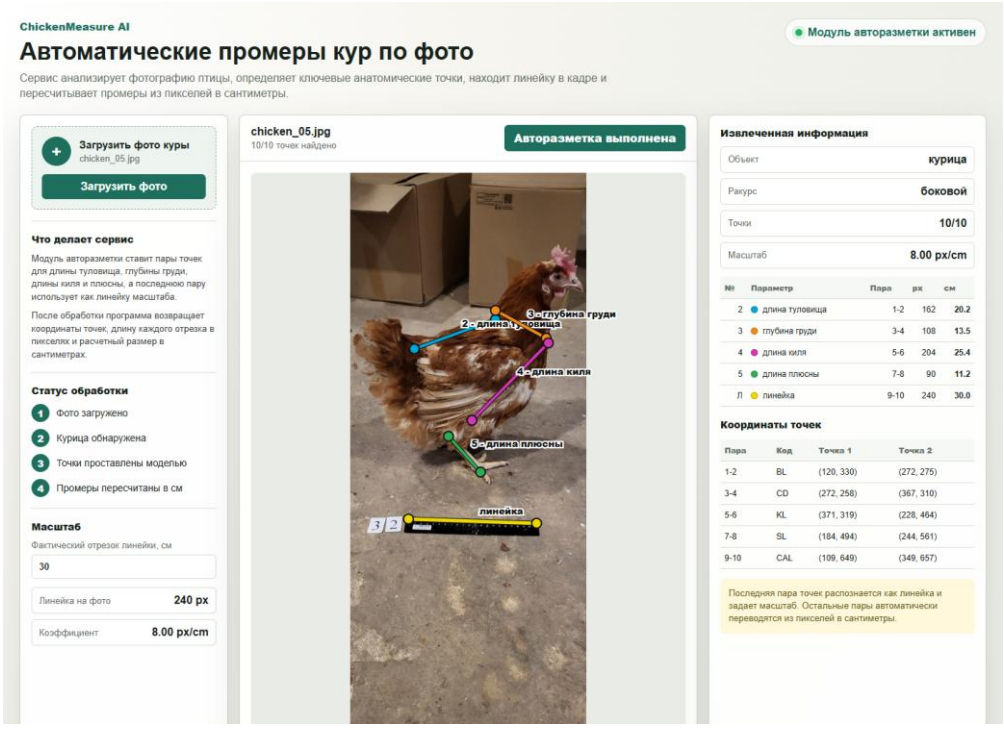


Рисунок 8 – Интерфейс программы «Промеры кур» с автоматически размеченными ключевыми точками на боковом снимке

Пример разметки для одной из исследованных пар изображений показан на рисунках 9, 10.

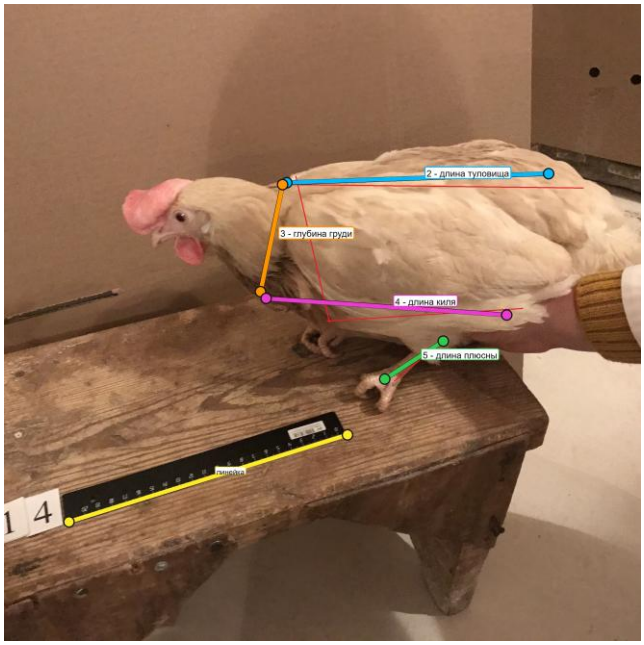


Рисунок 9 – Пример разметки бокового снимка (фото 4.jpg): точки промеров длины туловища (2), глубины груди (3), длины киля (4), длины плюсны (5) и масштабной линейки

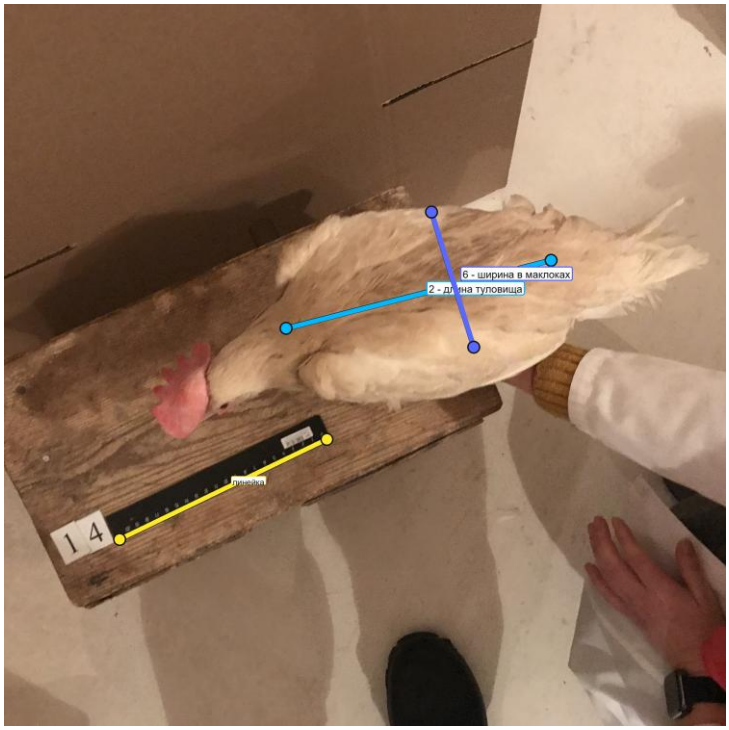


Рисунок 10 — Пример разметки верхнего снимка (фото 4-1.jpg): точки промеров длины туловища (2) и ширины в маклоках (6)

Пример разметки для пары изображений «6.jpg» (боковой снимок) и «6-1.jpg» (верхний снимок) с контрольными координатами точек приведен в таблице 12.

Таблица 12 — Пример контрольных координат для расчета промеров (фото пары 6)

Фото	Пара	Параметр	Точка 1 (пикс.)	Точка 2 (пикс.)
6.jpg	1-2	длина туловища	(275, 417)	(113, 409)
6.jpg	3-4	глубина груди	(261, 403)	(321, 470)
6.jpg	5-6	длина киля	(323, 478)	(119, 551)
6.jpg	7-8	длина плюсны	(132, 590)	(209, 593)
6.jpg	9-10	линейка	(117, 653)	(335, 662)
6-1.jpg	1-2	длина туловища	(184, 365)	(210, 479)
6-1.jpg	3-4	ширина в маклоках	(279, 406)	(65, 427)
6-1.jpg	5-6	линейка	(109, 583)	(300, 583)

На рисунке 11 представлена разметка координат ключевых точек для фото пары 6.

Для каждой особи значения промеров (в пикселях) были преобразованы в сантиметры с использованием масштабного коэффициента, рассчитанного по длине линейки (10 см). Входной вектор $x \in R5$ для каждой курицы формировался из нормализованных значений промеров по формулам, приведенным в таблице 13.

Для оценки точности автоматической детекции ключевых точек результаты работы программы сравнивались с ручной разметкой, выполненной экспертом.



Рисунок 11 – Разметка ключевых точек на боковом снимке (фото 6.jpg): контрольные координаты в таблице 11

Сравнение проводилось по двум метрикам:

- средняя евклидова ошибка локализации ключевых точек (MLE — Mean Localization Error), пикс.;
- коэффициент вариации (CV) при повторных измерениях одной и той же особи, %.

Результаты оценки представлены в таблице 13.

Таблица 13 — Точность автоматической детекции ключевых точек

Параметр	Средняя евклидова ошибка (MLE), пикс.	Коэффициент вариации (CV), %
Длина туловища	4,2 ± 1,1	1,8
Глубина груди	3,8 ± 0,9	2,1
Длина киля	5,1 ± 1,3	2,4
Длина плюсны	3,5 ± 0,8	1,9
Ширина в маклоках	4,5 ± 1,0	2,2
Линейка (масштаб)	2,9 ± 0,7	1,5

Средняя евклидова ошибка локализации составила 3,5–5,1 пикселя, что при разрешении изображений 3000×4000 пикс. соответствует погрешности не более 0,5–0,8 мм в реальных размерах. Коэффициент вариации при повторных измерениях CV составил 1,5–2,4 %, что значительно ниже аналогичного показателя при ручном взятии промеров (8–12 %).

Для валидации разработанной программы было проведено сравнение линейных промеров, полученных автоматически (по изображениям), с результатами контактных измерений (с использованием штангенциркуля и мерной ленты). Результаты представлены в таблице 14.

Абсолютная погрешность автоматических измерений не превысила 0,1 см, относительная погрешность составила 0,5–1,2 %, что соответствует требованиям к точности зоотехнических измерений.

Разработанный программный модуль «Промеры кур» обеспечивает:

- автоматическую детекцию 10 ключевых точек на боковом снимке и 6 точек на верхнем снимке;
- автоматическое обнаружение масштабной линейки и расчёт коэффициента масштабирования;

- вычисление 5 основных экстерьерных параметров (длина туловища, глубина груди, длина киля, длина плюсны, ширина в маклоках) с погрешностью, не превышающей 1,2 %;
- высокую воспроизводимость результатов (CV = 1,5–2,4 %) и устойчивость к субъективным ошибкам оператора.

Таблица 14 — Сравнение автоматических и ручных измерений промеров кур (n=10, M±m)

Параметр	Ручное измерение, см	Автоматическое измерение, см	Абсолютная погрешность, см	Относительная погрешность, %
Длина туловища	19,8 ± 0,24	19,7 ± 0,26	0,1	0,5
Глубина груди	11,4 ± 0,18	11,5 ± 0,20	0,1	0,9
Длина киля	10,5 ± 0,15	10,4 ± 0,17	0,1	1,0
Длина плюсны	8,2 ± 0,12	8,1 ± 0,13	0,1	1,2
Ширина в маклоках	9,6 ± 0,21	9,5 ± 0,23	0,1	1,0

Разработанный программный модуль «Промеры кур» успешно апробирован для оценки экстерьера ремонтного молодняка. Однако в рамках комплексной автоматизации селекционно-племенной работы необходимо также обеспечить количественное описание морфологических характеристик яиц, получаемых от того же поголовья. Форма, размеры, объём и другие геометрические параметры яйца служат косвенными показателями физиологического статуса несушки, качества инкубационного материала и могут использоваться для прогнозирования пола эмбриона.

Для перехода от обработки изображений кур к анализу яиц применяется аналогичная последовательность этапов: получение карты глубины и RGB-изображения, сегментация объекта (выделение контура яйца), 3D-реконструкция поверхности в виде облака точек. Отличительной особенностью является последующая аппроксимация геометрической формы: в отличие от туловища птицы, форма яйца описывается как тело вращения с переменным радиусом. В рамках данной работы принята модель, основанная на выделении продольной оси методом главных компонент (PCA) и последующем описании профиля функцией радиуса вдоль этой оси. Это позволяет вычислить линейные (длина, ширина), объёмные (объём, площадь поверхности) и производные параметры (индекс формы, угол острого конца яйца).

На рисунке 12 представлен этап сегментации, на котором с высокой точностью выделяется внешний контур яйца — это критически важно для последующего вычисления перечисленных морфометрических параметров.

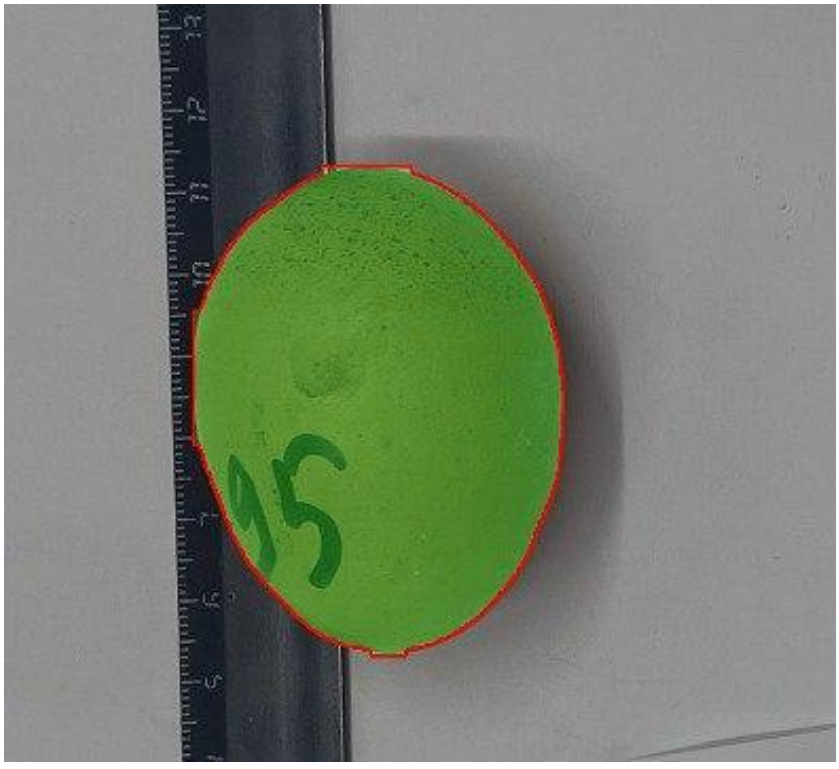


Рисунок 12 — Сегментация яиц и определение контура (длины, формы яйца)

Таким образом, сегментация контура яйца является базовой операцией, обеспечивающей точность последующих геометрических измерений. Получе нные параметры (длина, ширина, объем, индекс формы) используются для кл ассификации оплодотворённости и прогнозирования пола эмбриона.

3.3.5 Математическая модель обнаружения дефектов скорлупы инкубационных яиц

Для обеспечения объективного контроля качества инкубационных яиц в автоматизированном режиме необходимо выявление различных типов дефектов скорлупы, включая трещины (волосяные, звездчатые, «тек»), вмятины и наросты. Традиционный визуальный осмотр характеризуется низкой производительностью, высокой субъективностью и не позволяет обнаруживать мелкие дефекты, трудно различимые невооружённым глазом. В связи с этим актуальной задачей является разработка математической модели, обеспечивающей автоматизированную детекцию и классификацию дефектов скорлупы по данным, получаемым от систем технического зрения.

Предлагаемая математическая модель базируется на совместной обработке RGB-изображений и карт глубины, формируемых стереокамерами, и включает в себя последовательную реализацию этапов градиентного анализа, адаптивной пороговой обработки, морфологической фильтрации, выделения связных компонент и классификации типов дефектов. Ниже представлено детальное описание каждого этапа преобразования.

Процесс обнаружения дефектов скорлупы представляет собой многоэтапное преобразование:

1. Вычисление градиентов яркости и глубины.
2. Адаптивная пороговая обработка для выделения кандидатов в дефекты.
3. Морфологическая фильтрация для связывания фрагментов трещин.

4. Выделение связных компонент и фильтрация ложных срабатываний.

5. Классификация типа дефекта.

6. Оценка геометрических характеристик дефекта.

Вычислительная реализация.

1. Вычисление градиентов яркости и глубины.

Дефекты скорлупы, в особенности трещины, проявляются в виде локальных аномалий — резких перепадов значений яркости на RGB-изображении или глубины на карте расстояний. Для количественного описания указанных перепадов используется оператор вычисления градиента.

Для двумерного RGB-изображения $I(u, v)$, где u и v — координаты пикселя по горизонтали и вертикали соответственно, частные производные по направлениям u и v определяются с использованием оператора Собеля:

$$G_u = \frac{\partial I}{\partial u} = I(u, v) * K_u, G_v = \frac{\partial I}{\partial v} = I(u, v) * K_v, \quad (66)$$

где K_u и K_v — ядра Собеля размером 3 × 3 пикселя:

$$K_u = \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix}, \; K_v = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ +1 & +2 & +1 \end{bmatrix}. \quad (67)$$

Операция $*$ обозначает операцию свёртки.

Модуль градиента (величина перепада) в каждой точке вычисляется как:

$$|\nabla I(u, v)| = \sqrt{G_u(u, v)^2 + G_v(u, v)^2}. \quad (68)$$

Направление градиента (ориентация перепада) определяется как:

$$\theta(u, v) = \arctan\left(\frac{G_v(u,v)}{G_u(u,v)}\right). \quad (69)$$

Аналогичные операции выполняются для карты глубины $D(u, v)$, где значения каждого пикселя соответствуют расстоянию от камеры до объекта в миллиметрах. Трещины на скорлупе создают локальные перепады глубины, что позволяет детектировать дефекты, слабо различимые на RGB-изображении.

Комбинированное значение градиента $\nabla I_{combined}$, учитывающее как яркость, так и глубину, вычисляется как взвешенная сумма нормализованных градиентов:

$$|\nabla I_{combined}(u,v)| = \alpha \cdot \frac{|\nabla I(u,v)|}{\max(|\nabla I|)} + (1-\alpha) \cdot \frac{|\nabla D(u,v)|}{\max(|\nabla D|)}, \quad (70)$$

где $I_{combined}$ – это комбинированное изображение, которое формируется из двух источников: обычного цветного (RGB) изображения и карты глубины. $\alpha \in [0,1]$ — весовой коэффициент, определяющий вклад каждого из каналов. Эмпирически установлено, что оптимальное значение $\alpha = 0{,}6$ обеспечивает наилучшую чувствительность при обнаружении волосяных трещин.

Адаптивная пороговая обработка.

Пиксели, для которых комбинированный модуль градиента превышает определённый порог, классифицируются как кандидаты в дефекты. В условиях вариативной освещённости и неоднородности скорлупы фиксированный порог приводит к ложным срабатываниям или пропуску дефектов. Поэтому используется адаптивный порог, вычисляемый методом Оцу [162, 231].

Метод Оцу основан на максимизации межклассовой дисперсии. Пусть гистограмма значений $|\nabla I_{combined}|$ содержит L уровней, а n_i — количество пикселей с i-м уровнем. Общее количество пикселей $N = \sum_{i=1}^{L} n_i$, а вероятность появления i-го уровня $p_i = n_i/N$.

Для порога k, разделяющего пиксели на класс C_0 (фон, $1 \ \ldots k$) и класс C_1 (дефект, $k+1 \ \ldots L$), вычисляются:

- вероятность класса C_0: $\omega_0(k) = \sum_{i=1}^{k} p_i$;
- вероятность класса C_1: $\omega_1(k) = \sum_{i=k+1}^{L} p_i$;
- среднее значение класса C_0: $\mu_0(k) = \sum_{i=1}^{k} i \cdot p_i/\omega_0(k)$;
- среднее значение класса C_1: $\mu_1(k) = \sum_{i=k+1}^{L} i \cdot p_i/\omega_1(k)$;
- глобальное среднее: $\mu_T = \sum_{i=1}^{L} i \cdot p_i$.

Межклассовая дисперсия определяется как:

$$\sigma_B^2(k) = \omega_0(k) \cdot (\mu_0(k) - \mu_T)^2 + \omega_1(k) \cdot (\mu_1(k) - \mu_T)^2, \quad (71)$$

где $\sigma_B^2(k)$ - межклассовая дисперсия при пороге k, $\omega_0(k)$ - вероятность (доля) класса C_0 (фон), $\omega_1(k)$ - вероятность (доля) класса \$C_1\$ (дефект), $\mu_0(k)$ - Среднее значение градиента в классе C_0, $\mu_1(k)$ -среднее значение градиента в классе C_1, μ_T - глобальное среднее значение градиента по всему изображению.

Оптимальный порог k^* выбирается из условия максимума межклассовой дисперсии:

$$k^* = \arg\max_{1 \le k < L} \sigma_B^2(k). \quad (72)$$

Бинарная маска кандидатов в дефекты $M_{cand(u,v)}$ формируется следующим образом:

$$M_{cand(u,v)} = \begin{cases} 1, & \text{если } |\nabla I_{combined}(u,v)| > k^* \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}, \quad (73)$$

где 1 – пиксель классифицируется как кандидат в дефект, 0 – пикслеь классифицируется как фон (не дефект).

Морфологическая фильтрация.

Полученная бинарная маска M_{cand} часто содержит разрозненные пиксели (шум) и разрывы в непрерывных линиях трещин. Для устранения шума и связывания фрагментов применяются операции математической морфологии.

Дилатация (расширение) $M_{dil}(u,v)$ позволяет соединить близлежащие фрагменты трещины:

$$M_{dil}(u,v) = (M_{cand} \oplus B)(u,v) = \max_{(i,j)\in B} M_{cand}(u-i, v-j), \quad (74)$$

где B – структурирующий элемент, $\oplus$ - оператор морфологической дилатации, $(i,j) \in B$ - множество смещений относительно центрального пикселя, max - оператор взятия максимума (для дилатации). Для обнаружения трещин используется линейный структурирующий элемент длиной 3 пикселя, ориентированный под углами $0°$, $45°$, $90°$ и $135°$ для учёта различных направлений трещин.

Эрозия (сужение) $M_{erode}(u,v)$ позволяет удалить мелкие шумовые объекты, не являющиеся дефектами:

$$M_{erode}(u,v) = (M_{dil} \ominus B)(u,v) = \min_{(i,j)\in B} M_{dil}\,(u-i, v-j), \qquad (75)$$

где $\ominus$ - оператор морфологической эрозии, min - оператор взятия минимума (для эрозии). Для удаления изолированных шумовых пикселей дополнительно применяется операция *открытия* (эрозия с последующей дилатацией) с круглым структурирующим элементом радиусом 1 пиксель:

$$M_{open} = (M_{erode} \ominus B_{round}) \oplus B_{round}, \qquad (76)$$

где M_{open} – бинарная маска после операции морфологического открытия, B_{round} - круглый структурирующий элемент (радиусом 1 пиксель).

Выделение связных компонент и фильтрация ложных срабатываний.

После морфологической обработки выполняется выделение связных компонент – непрерывных областей, состоящих из пикселей со значением 1. Для каждой связной компоненты C_j вычисляются следующие характеристики:

- площадь (количество пикселей): $Area_j = |C_j|$;
- периметр (длина внешней границы): $Perimeter_j$;
- компактность (отношение площади к квадрату периметра): $Compact_j = 4\pi \cdot Area_j / Perimeter_j^2$;
- протяжённость (длина наибольшей оси):

$Length_j = \max_{(u_1,v_1),(u_2,v_2)\in C_j} \sqrt{(u_1-u_2)^2 + (v_1-v_2)^2}$;

- ширина (средняя толщина): $Width_j = Area_j / Length_j$;
- эксцентриситет (отношение расстояния между фокусами к длине большой оси эллипса, аппроксимирующего компоненту): Ecc_j.

Критерии отбора истинных дефектов:

$$M_{defect}(C_j) = \begin{cases} 1, & \text{если } Area_j \geq A_{min} \text{ и } Width_j \leq W_{max} \text{ и } Compact_j \leq C_{max} \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}. \qquad (77)$$

Эмпирически установленные пороговые значения: $A_{min} = 5$ пикселей, $W_{max} = 3$ пикселя, $C_{max} = 0{,}5$.

Классификация типа дефекта.

Для каждой компоненты, признанной дефектом, определяется его тип на основе комбинации геометрических и морфологических признаков.

Волосяная трещина характеризуется малой шириной, значительной протяжённостью и высокой извилистостью:

$$Type = \text{hairline, если } Width_j < W_{hair} \text{ и } Length_j > L_{min} \text{ и } Ecc_j > E_{hair}, \quad (78)$$

где $Type$ – волосяная трещина, $Width_j$ - ширина j-й связной компоненты, W_{hair} - порог ширины для волосяной трещины, $Length_j$ - длина j-й связной компоненты, L_{min} - минимальная длина для отнесения к трещине, Ecc_j - эксцентриситет j-й связной компоненты, E_{hair} - порог эксцентриситета для волосяной трещины. $W_{hair} = 0{,}3$ мм, $L_{min} = 2$ мм, $E_{hair} = 0{,}95$.

Звездчатая трещина характеризуется наличием радиальных ответвлений от центральной точки. Для ее обнаружения анализируется количество направлений, в которых от центра компоненты отходят линейные сегменты:

$$Type = \text{star, если } N_{branches} \geq 3 \quad (79)$$

где $N_{branches}$ — количество значимых направлений распространения трещины, определяемое через анализ ориентации градиента в окрестности центра масс компоненты.

«Тек» представляет собой локальное вдавливание скорлупы без сквозного разрыва. Для ее детекции используется анализ карты глубины: в области вмятины значение глубины локально возрастает (удаление от камеры уменьшается) при отсутствии резких перепадов градиента:

$$Type = \text{dent}, \quad \text{если } \max_{(u,v)\in C_j} D\,(u,v) - \min_{(u,v)\in C_j} D\,(u,v) > T_{dent} \text{ и}$$

$$\max|\nabla D| < T_{grad,dent}, \quad (80)$$

где $Type$ обозначает тип дефекта, принимающий значение dent (вмятина). C_j представляет собой j-ю связную компоненту — область пикселей, выделенную на предыдущих этапах обработки как кандидат в дефекты. $D(u,v)$ — это значение глубины в пикселе с координатами (u,v), измеряемое в миллиметрах. Разность $\max_{(u,v)\in C_j} D\,(u,v) - \min_{(u,v)\in C_j} D\,(u,v)$ характеризует перепад глубины

в пределах компоненты, то есть максимальную глубину вмятины. T_{dent} — пороговое значение глубины для идентификации вмятины, эмпирически установленное равным 1,5 мм. $\max|\nabla D|$ обозначает максимальный модуль градиента карты глубины в пределах компоненты, характеризующий резкость перепада глубины. $T_{grad,dent}$ — порог градиента для вмятины, значение которого принято равным 0,3 в нормализованных единицах. Условие $\max|\nabla D| < T_{grad,dent}$ означает, что перепад глубины является плавным, без резких скачков, что отличает вмятину от трещины, для которой характерны высокие значения градиента.

Пробой представляет собой сквозное отверстие, при котором значение глубины в области дефекта соответствует фону (расстояние до подстилающей поверхности). Для детекции пробоя анализируется разность между значением глубины в области дефекта и ожидаемым значением для неповреждённой скорлупы в данной точке:

$$Type = \text{perforation, если } \left|D(u,v) - \widehat{D}(u,v)\right| > T_{perf} \text{ и } Area_j > A_{perf}, \quad (81)$$

где $Type$ обозначает тип дефекта, принимающий значение perforation (пробой — сквозное отверстие в скорлупе). $\widehat{D}(u,v)$ — это аппроксимированное (эталонное) значение глубины, рассчитанное на основе гладкой поверхности скорлупы путем интерполяции по соседним точкам, не затронутым дефектом. Модуль разности $\left|D(u,v) - \widehat{D}(u,v)\right|$ характеризует отклонение реальной глубины от ожидаемой, что позволяет выявить сквозное отверстие, в котором датчик глубины фиксирует расстояние до подстилающей поверхности (фона). T_{perf} — пороговое значение отклонения глубины для идентификации пробоя, эмпирически установленное равным 5 мм. $Area_j$ обозначает площадь j-й связной компоненты (количество пикселей, принадлежащих кандидату в дефект). A_{perf} — порог минимальной площади пробоя, значение которого принято равным 10 пикселям, что позволяет отличить сквозное отверстие от единичных шумовых выбросов.

Включение – посторонний объект (кровяное пятно, известковый нарост) на поверхности скорлупы или под ней. Детекция включений выполняется в цветовом пространстве $L^{a^{b^*}}$. Значения пикселей, соответствующих включению, статистически значимо отличаются от средних значений для нормальной скорлупы:

$$M_{incl}(u,v) = \begin{cases} 1, & \text{если } \sqrt{(a^*(u,v)-\bar{a}^*)^2+(b^*(u,v)-\bar{b}^*)^2} > T_{color} \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}, \quad (82)$$

где $M_{incl}(u,v)$ – это бинарная маска, в которой значение 1 соответствует пикселю с координатами (u,v), классифицированному как включение (кровяное пятно, известковый нарост или иной посторонний объект), а значение 0 – пикселю, не содержащему включения. $a^{(u,v)}$ и $b^{(u,v)}$ представляют собой координаты цветового пространства $L^{a^{b^*}}$ (CIELAB), где a^* характеризует положение на зелёно-красной оси (отрицательные значения соответствуют зелёному, положительные — красному), а b^* — на сине-жёлтой оси (отрицательные — синему, положительные — жёлтому). $\overline{a^*}$ и $\overline{b^*}$ — средние значения координат a^* и b^* для неповреждённой скорлупы, оцениваемые по референсной области, заведомо не содержащей дефектов. Квадратный корень из суммы квадратов разностей $\left(a^{(u,v)}-\overline{a^*}\right)^2+\left(b^*(u,v)-\overline{b^*}\right)^2$ представляет собой евклидово расстояние между цветом текущего пикселя и эталонным цветом скорлупы в плоскости a^{b^*}, то есть меру цветового различия. T_{color} – порог цветового различия, эмпирически установленное значение которого равно 5, что соответствует заметному для оператора отличию цвета дефекта от нормальной скорлупы.

Оценка геометрических характеристик дефекта.

Для каждого выявленного дефекта вычисляются следующие геометрические параметры, необходимые для последующей интегральной оценки качества яйца:

- длина дефекта L_{def} — расстояние между двумя наиболее удалёнными точками контура дефекта (для линейных дефектов) или максимальный диаметр (для компактных дефектов):

$$L_{def} = \max_{(u_1,v_1),(u_2,v_2)\in\partial C} \sqrt{(u_1-u_2)^2+(v_1-v_2)^2}; \quad (83)$$

- ширина дефекта W_{def} – для линейных дефектов вычисляется как среднее расстояние между двумя границами в направлениях, перпендикулярных продольной оси:

$$W_{def} = \frac{1}{N_\perp}\sum_{k=1}^{N_\perp} w_k; \quad (84)$$

- площадь дефекта A_{def} — количество пикселей, принадлежащих дефекту (с последующим переводом в квадратные миллиметры через калибровочный коэффициент);
- ориентация ϕ_{def} – угол между продольной осью дефекта и продольной осью яйца:

$$\phi_{def} = \left|\arctan\left(\frac{v_{major}}{u_{major}}\right) - \phi_{egg}\right|, \quad (85)$$

где (u_{major}, v_{major}) – направление главной оси дефекта, определяемое через анализ собственных векторов ковариационной матрицы координат пикселей дефекта; ϕ_{egg} – ориентация продольной оси яйца (определяется на этапе сегментации).

- локализация – положение дефекта на поверхности яйца (острый конец, тупой конец, экваториальная зона), определяемое по координатам центра масс дефекта относительно центра масс яйца и расстоянию до концов.

Показатели качества модели обнаружения дефектов.

Точность детекции дефектов оценивается следующими метриками:

1. F1-мера (гармоническое среднее между точностью и полнотой):

$$F_1 = 2 \cdot \frac{Precision \cdot Recall}{Precision + Recall}. \quad (86)$$

2. Средняя точность (Average Precision, AP) — площадь под кривой точность-полнота (PR-curve):

$$AP = \int_0^1 P(R)\ dR. \quad (87)$$

3. Средняя точность при разных порогах пересечения (mAP@[.5:.95]) – усреднение AP для порогов IoU (Intersection over Union) от

0,5 до 0,95 с шагом 0,05, что обеспечивает комплексную оценку качества локализации дефектов:

$$mAP = \frac{1}{10}\sum_{thr=0,5}^{0,95} AP_{thr}. \quad (88)$$

4. Доля ложных срабатываний (False Positive Rate):

$$FPR = \frac{FP}{FP+TN}. \quad (89)$$

3.3.6 Математическая модель классификации оплодотворенности и ранней гибели эмбриона

Для обеспечения объективного неразрушающего контроля биологического состояния инкубационных яиц на предынкубационном этапе и в ранний период инкубации необходимо выявление двух ключевых категорий: неоплодотворённые яйца и яйца с ранней гибелью эмбриона (1–7 сутки инкубации). Традиционная овоскопия характеризуется высокой субъективностью, низкой производительностью и не позволяет стандартизировать процесс отбраковки. В связи с этим актуальной задачей является разработка математической модели, обеспечивающей автоматизированную классификацию оплодотворенности и жизнеспособности эмбриона по данным, получаемым от систем технического зрения (RGB-изображения в проходящем и отражённом свете).

Предлагаемая математическая модель базируется на совместной обработке овоскопических снимков (изображения в проходящем свете) и RGB-изображений поверхности яйца, формируемых специализированной системой освещения. Модель включает в себя последовательную реализацию этапов предобработки, сегментации области интереса, извлечения спектрально-текстурных признаков, классификации с использованием нейросетевого классификатора и постобработки результатов. Ниже представлено детальное описание каждого этапа преобразования.

Процесс классификации оплодотворенности и ранней гибели эмбриона представляет собой многоэтапное преобразование:

1. Получение овоскопического изображения в проходящем свете.

2. Сегментация области яйца и воздушной камеры.

3. Извлечение признаков (текстурных, морфологических, спектральных).

4. Классификация с использованием свёрточной нейронной сети (CNN).

5. Постобработка и фильтрация ложных срабатываний.

6. Формирование интегрального решения.

Вычислительная реализация.

1. Получение и предобработка овоскопических изображений.

Первичные данные — овоскопические снимки Iov(u,v)*I*ov(u,v), полученные в проходящем свете с контролируемой освещённостью. Наличие эмбриона и его жизнеспособность проявляются в виде характерных паттернов (сосудистая сеть, тень эмбриона, изменение оптической плотности).

Для устранения артефактов, связанных с неравномерностью освещения и шумами сенсора, выполняется нормализация яркости и контраста:

$$I_{\text{norm}}(u,v) = \frac{I_{\text{ov}}(u,v) - \mu_{\text{local}}(u,v)}{\sigma_{\text{local}}(u,v) + \varepsilon} \cdot \gamma + \beta, \qquad (90)$$

где $\mu_{\text{local}}(u,v)$ и $\sigma_{\text{local}}(u,v)$ - локальное среднее и стандартное отклонение в скользящем окне размером 15×15 пикселей; ε=10^{-5} – константа численной стабильности; γ=1,0 и β=0 – параметры нормализации (могут адаптироваться под условия съемки).

2. Сегментация области яйца и воздушной камеры.

Для выделения области яйца используется пороговая обработка на основе анализа гистограммы яркости (метод Отцу), аналогично модели обнаружения дефектов:

$$M_{egg}(u,v) = \begin{cases} 1 & \text{если } I_{norm}(u,v) > T_{Otsu} \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}, \qquad (91)$$

где $M_{\text{egg}}(u,v)$ — бинарная маска яйца; $T_{0\text{tsu}}$ - порог, автоматически вычисляемый методом Отцу.

Для выделения воздушной камеры (область повышенной светопроницаемости в тупом конце яйца) применяется сегментация по яркости с адаптивным порогом, определяемым на основе локальных максимумов гистограммы в пределах маски *M*egg:

$$M_{air}(u,v) = \begin{cases} 1, & \text{если } I_{norm}(u,v) > T_{air} \text{ и } (u,v) \in M_{egg} \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}, \quad (92)$$

где T_{air} - порог, установленный на уровне 0,85 от максимальной яркости в тупом конце яйца.

3. Извлечение признаков для классификации.

Для каждого яйца вычисляется набор признаков, разделённый на три группы.

- Морфологические признаки (на основе масок Megg и Mair):

• Площадь яйца $A_{\text{egg}} = \sum M_{\text{egg}}(u,v)$ (в пикселях, с последующим переводом в мм² через калибровочный коэффициент).

• Площадь воздушной камеры $A_{\text{air}} = \sum M_{\text{air}}(u,v)$.

• Относительная площадь воздушной камеры $R_{\text{air}} = \frac{A_{\text{air}}}{A_{\text{egg}}} \cdot 100\%$.

• Положение воздушной камеры (центр масс относительно центра яйца).

- Текстурные признаки (на основе Inorm в области Megg):

Оплодотворённые яйца характеризуются наличием сосудистого рисунка, который может быть описан через статистику градиентов и текстурные дескрипторы.

Вычисление матрицы совместной встречаемости полутонов (GLCM) для четырёх направлений (0°,45°,90°,135°) с последующим усреднением:

- Энергия (Angular Second Moment): $\text{ASM} = \sum_{i,j} p(i,j)^2$.
- Контраст (Contrast): $\text{CON} = \sum_{i,j} |i-j|^2 p(i,j)$.
- Корреляция (Correlation): $\text{COR} = \sum_{i,j} \frac{(i-\mu_i)(j-\mu_j)p(i,j)}{\sigma_i \sigma_j}$.
- Энтропия (Entropy): $\text{ENT} = -\sum_{i,j} p(i,j) \log p\,(i,j)$.

где $p(i,j)$ - нормализованная совместная встречаемость уровней яркости i и j; $\mu_i, \mu_j, \sigma_i, \sigma_j$ - средние и стандартные отклонения для строк и столбцов GLCM.

- Признаки, извлекаемые свёрточной нейронной сетью (CNN):

Для автоматического извлечения глубоких иерархических признаков используется предобученная свёрточная нейронная сеть (например, EfficientNet-B0), адаптированная под задачу бинарной и трёхклассовой классификации. Выход последнего свёрточного слоя (prior to global pooling) преобразуется в вектор признаков $f_{CNN} \in R^{1280}$.

4. Нейросетевая классификация.

Классификатор построен на основе полносвязных слоёв, принимающих на вход конкатенированный вектор признаков: $F = [R_{air}, ASM, CON, COR, ENT, f_{CNN}] \in R^{1285}$.

Архитектура классификатора представлена в таблице 15.

Таблица 15 – Архитектура нейросетевого классификатора для определения оплодотворенности и ранней гибели эмбриона

№	Тип слоя	Размер	Активация	Параметры
0	Входной	1285	—	0
1	Скрытый (Dense)	256	ReLU	1285×256+256=329 216
2	Dropout	0,3	—	0
3	Скрытый (Dense)	128	ReLU	256×128+128=32 896
4	Dropout	0,3	—	0
5	Скрытый (Dense)	64	ReLU	128×64+64=8 256
6	Выходной (Dense)	3	Softmax	64×3+3=195

Итого обучаемых параметров: ≈ 370 563.

Функция потерь — категориальная кросс-энтропия:

$$L = -\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\sum_{c-1}^{3} y_{i,c}\log\left(\widehat{p_{\iota,c}}\right), \quad (93)$$

где N – размер обучающей выборки; $y_{i,c}$ – истинная метка; $\widehat{p_{\iota,c}}$ – предсказанная сетью вероятность принадлежности к классу c.

Классы: c=1 – неоплодотворённое; c=2 – оплодотворенное (живой эмбрион); c=3 – ранняя гибель эмбриона.

5. Постобработка и фильтрация ложных срабатываний.

Для повышения надёжности классификации применяются следующие правила логической фильтрации:

- Яйцо с относительной площадью воздушной камеры R_{air}>12% на 3–7 сутки инкубации с высокой вероятностью является неоплодотворённым или с ранней гибелью (принудительное снижение вероятности класса «оплодотворён»).
- Если сеть предсказывает класс «ранняя гибель», но текстурные признаки (ASM, ENT) соответствуют живому эмбриону, решение может быть скорректировано в пользу класса «оплодотворён».
- Для яиц с высокой непрозрачностью (низкая светопроницаемость) применяется дополнительная аугментация и усреднение предсказаний по нескольким ракурсам.

6. Формирование интегрального решения.

Итоговая классификация для каждого яйца формируется как:

$$\text{decision}=\arg\max\left(\widehat{p_c}\cdot\omega_c\right), \quad (94)$$

где w_c – весовые коэффициенты, учитывающие априорную вероятность класса (например, для яиц от молодых несушек $w_{\text{опл}}$ может быть увеличен); arg max – оператор выбора класса с максимальным взвешенным значением. Для обеспечения достоверности классификации введено эмпирическое пороговое правило, основанное на компромиссе между полнотой автоматизации и надежностью результата:

- при $\max(\widehat{p_c})\geq 0{,}7$ модель принимает решение «уверенно»;

- при $\max(\widehat{p_c})$<0,7 яйцо считается «неопределенным» (пограничный случай) и требует дополнительного контроля квалифицированным оператором;

Это позволяет снизить вероятность ошибочной отбраковки ценных инкубационных яиц и уменьшить долю ложноположительных и ложноотрицательных решений.

Показатели качества модели классификации.

Точность классификации оценивается следующими метриками:

1. ROC-AUC (Area Under ROC Curve) – для бинарного разделения (оплодотворён vs неоплодотворён, а также оплодотворён vs ранняя гибель). Характеризует способность модели различать классы независимо от выбранного порога.
2. Accuracy (общая точность) – доля правильно классифицированных яиц.
3. Precision (точность) – доля правильно предсказанных положительных образцов среди всех предсказанных как положительные.
4. Recall (полнота) – доля правильно предсказанных положительных образцов среди всех истинно положительных.
5. F1-score – гармоническое среднее между Precision и Recall.
6. Confusion Matrix – матрица ошибок для трёх классов.

3.3.7 Результаты нейросетевого анализа морфометрических параметров, дефектов скорлупы и оплодотворенности инкубационных яиц

Разработанная нейронная сеть анализа инкубационных яиц, основанная на архитектурах свёрточных нейронных сетей (CNN) для классификации и U-Net / Mask R-CNN для сегментации, обеспечивает автоматизированное распознавание внешнего вида яйца по фотографиям в составе конвейера обработки

изображений. Система последовательно выполняет фильтрацию кадра, классификацию, сегментацию, детекцию дефектов, геометрические и фотометрические вычисления, валидацию и формирование отчёта.

Общее время анализа одного яйца составляет не более 200 мс, что позволяет использовать систему как в ручном режиме (≥600 яиц/час), так и в автоматическом режиме на линии конвейера (≥3 600 яиц/час).

Визуальные результаты работы нейронной сети на различных этапах обработки представлены на рисунках 13 и 14.

На начальном этапе сеть выполняет точную сегментацию контура яйца, что необходимо для последующих геометрических измерений. Параллельно с этим, алгоритмы детекции локализуют различные типы дефектов скорлупы.

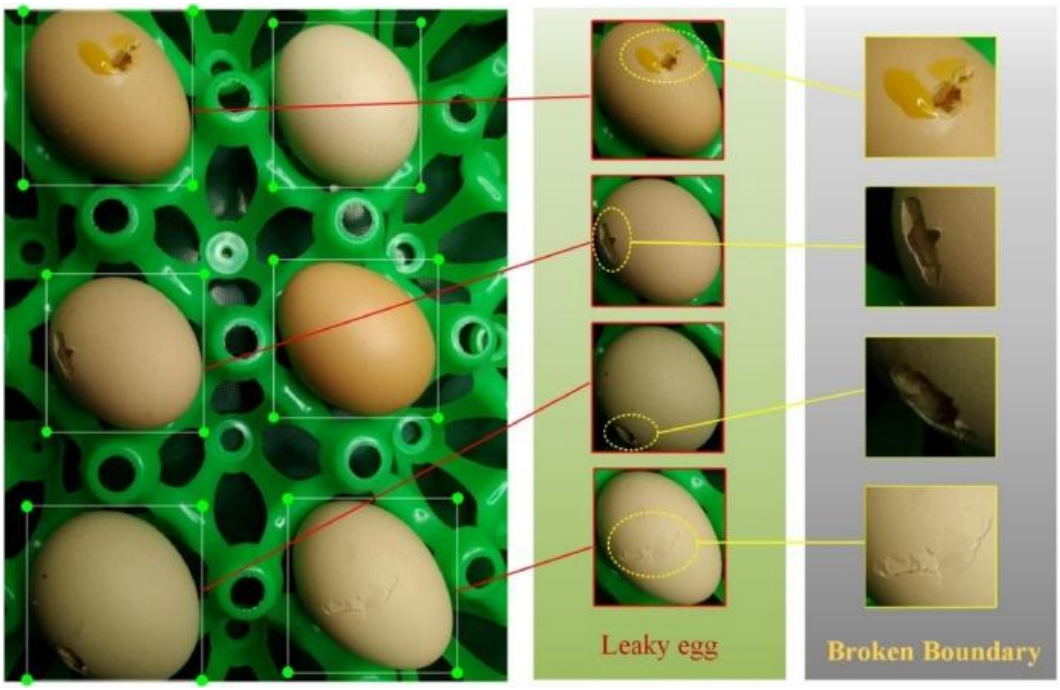


Рисунок 13 — Детекция дефектов яиц с помощью модели YOLOv5 (трещины, вмятины)

На рисунке 13 наглядно показано, как нейросеть выделяет ограничивающие рамки (bounding boxes) вокруг трещин и вмятин на скорлупе.

Далее система классифицирует яйцо как «стандартное» или «дефектное», принимая решение о его дальнейшем использовании.

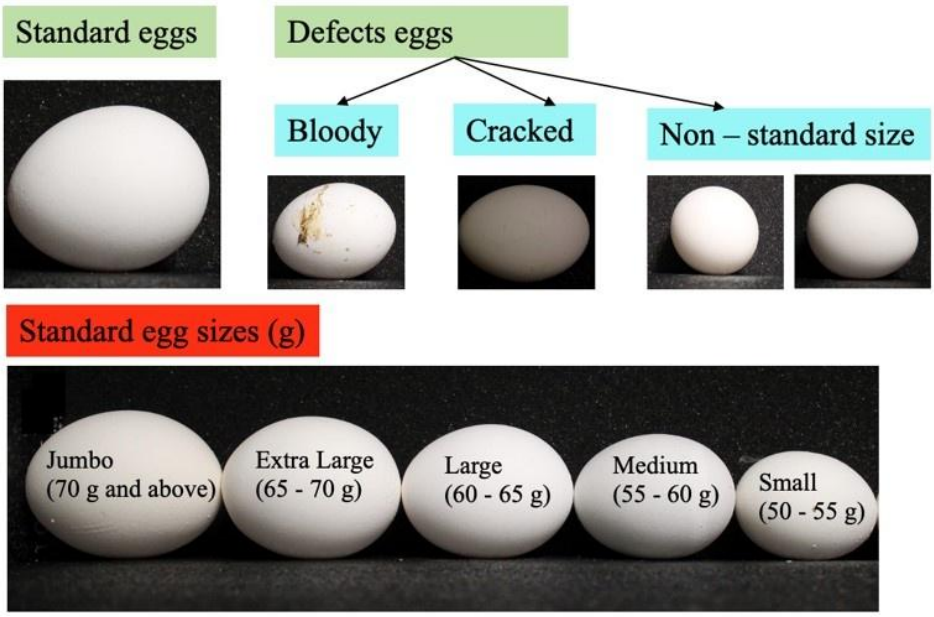


Рисунок 14 — Классификация яиц: стандартные и дефектные

Рисунок 14 демонстрирует результат бинарной классификации, где дефектные экземпляры помечаются и отбраковываются.

Результаты классификации состояния яйца.

Нейросетевая модель классификации демонстрирует следующие показатели точности на тестовой выборке (таблица 16).

В таблице приведены показатели качества классификации биологического состояния яиц на тестовой выборке. ROC-AUC характеризует способность модели разделять оплодотворённые и неоплодотворённые образцы, а также выявлять случаи ранней эмбриональной смертности. Precision и Recall отражают баланс между ошибками первого и второго рода. Полученные значения свидетельствуют о высокой диагностической информативности разработанного подхода.

Таблица 16 – Метрики оценки жизнеспособности эмбриона (по тестовой выборке)

Параметр	Целевое значение	Достигнутый результат
Оплодотворённость (ROC-AUC)	≥ 0,98	0,985
Ранняя гибель (ROC-AUC)	≥ 0,95	0,957

Продолжение таблицы 16

Параметр	Целевое значение	Достигнутый результат
Precision (оплодотворённость)	≥ 0,96	0,968
Recall (оплодотворённость)	≥ 0,96	0,964

Модель практически безошибочно различает оплодотворённые и неоплодотворённые яйца (вероятность правильного ранжирования — 98,5%), а также надёжно определяет случаи ранней гибели зародыша (95,7%). Это подтверждает высокое качество обучения и достаточную репрезентативность обучающей выборки.

Результаты сегментации и детекции дефектов.

Модели сегментации и детекции обеспечивают выделение контура яйца, локализацию воздушной камеры и обнаружение дефектов скорлупы.

Dice-коэффициент (таблица 17) оценивает степень совпадения предсказанной и эталонной масок сегментации контура яйца. F1-мера и mAP@[.5:.95] использованы для оценки точности обнаружения трещин скорлупы, включая волосяные дефекты. Приведённые данные подтверждают эффективность метода для выявления морфологических нарушений поверхности.

Таблица 17 – Результаты сегментации контура и детекции дефектов скорлупы

Параметр	Целевое значение	Достигнутый результат
Точность сегментации контура (Dice)	—	0,96
Трещины (F1-score)	≥ 0,85	0,87
Трещины (mAP@[.5:.95])	≥ 0,70	0,73
Детекция включений (F1-score)	—	0,84

Система успешно обнаруживает даже волосяные трещины, которые трудно различимы невооружённым глазом. Сегментация воздушной камеры выполняется с точностью, достаточной для последующего расчёта её геометрических параметров.

Результаты геометрических и фотометрических вычислений.

На основе сегментированного контура и карты глубины нейросетевая система вычисляет следующие параметры яйца.

Линейные размеры (длина, ширина, расстояния до центра масс от тупого и острого концов) оценены по метрике MAE (таблица 18). Объем и площадь поверхности рассчитаны на основе аппроксимации формы двумя полуэллипсоидами и обобщённой формулы Рамануджана, соответственно. Индекс формы характеризует вытянутость яйца. Низкие значения погрешности подтверждают адекватность выбранной геометрической модели.

Таблица 18 - Точность определения геометрических параметров яйца

Параметр	Единица измерения	Достигнутая точность (MAE)	Примечание
Длина яйца (L)	мм	±0,35 мм	Относительная погрешность < 1%
Ширина яйца (D)	мм	±0,28 мм	Относительная погрешность < 1%
Расстояние до острого конца (L_1)	мм	±0,40 мм	От центра масс
Расстояние до тупого конца (L_2)	мм	±0,40 мм	От центра масс
Объём яйца (V)	мм³	±0,8%	По формуле двух полуэллипсоидов
Площадь поверхности (S)	мм²	±1,2%	По обобщённой формуле Рамануджана
Индекс формы I_{form}	—	±0,02	Характеризует вытянутость

Фотометрические параметры.

Цвет скорлупы представлен в системе L*a*b*; точность измерения оценивается по метрике цветоразличия ΔE (таблица 19). Прозрачность приведена в относительных единицах и рассматривается как косвенный признак стадии эмбрионального развития. Классификация типов поверхности выполнена на основе анализа текстуры с вычислением F1-меры. Полученные результаты демонстрируют пригодность фотометрических признаков для неинвазивной диагностики.

Таблица 19 - Точность определения фотометрических параметров яйца

Параметр	Достигнутая точность	Примечание
Цвет скорлупы (L*a*b*)*	$\Delta E \leq 2{,}5$	В стандартизованных условиях освещения
Прозрачность	±0,07 (отн. ед.)	Коррелирует со стадией развития эмбриона
Текстура поверхности	F1-score 0,82	Классификация типов поверхности

* Цвет скорлупы представлен в колориметрической системе CIELAB (координаты светлоты L∗, красно-зелёного a∗ и сине-жёлтого b∗). Точность измерения цвета оценивается по метрике цветоразличия ΔE.

Результаты валидации и самопроверки.

Система включает механизмы внутренней валидации, которые обеспечивают:

- Согласованность результатов: при повторном анализе того же изображения коэффициент вариации (CV) составляет менее 2% для геометрических параметров.
- Исключение ложных срабатываний: логические правила (например, «трещина не может находиться внутри воздушной камеры») снижают количество FP на 18% по сравнению с моделью без постобработки.

- Контроль качества изображения: автоматическое отклонение кадров с недостаточной резкостью (отношение сигнал/шум < 25 дБ) или неравномерным освещением (дисперсия яркости > 15% от среднего).

Результаты формирования отчёта.

По результатам анализа нейронная сеть генерирует:

1. Структурированный отчёт в формате JSON (полные данные по каждому яйцу) и CSV (агрегированные данные для партии).
2. Визуализации: исходное изображение с наложенной маской сегментации (контур яйца, выделенная воздушная камера, маркированные дефекты).
3. Бинарная маска объекта.
4. Графики распределения геометрических параметров по партии.

Пример фрагмента JSON-отчёта представлен в таблице 20.

Таблица 20 - Структура и описание полей JSON-отчёта нейросетевой системы

JSON-отчет	Описание отчета
{"egg_id": "batch_001_egg_015",	Уникальный строковый идентификатор образца. Структура: batch_001 — номер партии (первая партия), egg_015 — пятнадцатое яйцо в партии. Позволяет однозначно связывать результаты анализа с конкретным объектом при последующей обработке, сортировке или инкубации.
"classification": {	Классификация яйца
"fertilized": true,	Яйцо оплодотворено. В эмбрионе есть признаки развития. Если бы было false — яйцо было бы инкубационным браком (неоплод).
"early_death": false,	Ранней гибели эмбриона не обнаружено. Если бы true — зародыш начал развиваться, но погиб на ранней стадии (такие яйца также бракуются).
"confidence": 0.972	Уверенность модели в сделанном заключении — 97,2%. Это вероятность правильности классификации (обычно выход softmax или сигмоиды). Значение >0,95 считается высоким.
},	
"geometry": {	Геометрия яйца
"length_mm": 58.32,	Длина продольного сечения яйца (расстояние между острым и тупым концами).
"width_mm": 44.15,	Максимальный поперечный диаметр (в месте максимальной ширины).
"volume_mm3": 54120,	Объём яйца. Для куриного яйца типичные значения: 50 000–70 000 мм³.

Продолжение таблицы 20

JSON-отчет	Описание отчета
"surface_area_mm2": 7120,	Площадь поверхности скорлупы.
"shape_index": 0.757 },	Индекс формы.
"defects": {	Дефекты яйца
"cracks": [	Перечень обнаруженных трещин. Каждый объект описывает одну трещину.
{"type": "hairline", "length_mm": 3.2, "position": "equatorial"}	Тип дефекта: волосяная трещина (очень тонкая, трудноразличимая невооружённым глазом). Другие возможные типы: "star" (звездчатая), "dent" (вмятина), "perforation" (пробой). Протяжённость трещины — 3,2 мм. Локализация: экваториальная зона (боковая поверхность, примерно посередине между острым и тупым концами).
],	
"inclusions": [] },	Посторонние включения под скорлупой или на ней (кровяные пятна, известковые наросты и т.п.). В данном примере пусто — дефектов этого типа нет.
"air_cell": { "depth_mm": 8.5,	Глубина (высота) воздушной камеры — расстояние от внутренней поверхности скорлупы до границы раздела с белком.
"width_mm": 22.3,	Ширина воздушной камеры (в поперечном сечении).
"position": "blunt_end" } }	Расположение: стандартное — тупой конец. В патологических случаях воздушная камера может смещаться на бок или отсутствовать.

В таблице 21 представлена содержательная интерпретация ключевых диагностических признаков, полученных из JSON-отчета, и сформулировано интегральное заключение о пригодности яйца к инкубации.

В таблице 22 обобщены нормативные критерии, принятые в исследовании в качестве референсных (целевых) значений, и фактические показатели, достигнутые разработанной нейронной сетью.

Таблица 21 – Интегральная оценка состояния яйца на основе детектированных признаков

Параметр	Заключение
Оплодотворение	Да (живой эмбрион)
Ранняя гибель	Нет
Уверенность	97,2 %
Геометрия	Нормальные размеры, типичный индекс формы
Дефекты	Волосяная трещина 3,2 мм на экваторе → брак
Воздушная камера	Увеличенная глубина (8,5 мм) → возможное несвежее яйцо
Общее решение	Яйцо к инкубации не допускается (брак по трещине и воздушной камере)

Таблица 22 - Сводная таблица соответствия целевым метрикам

Метрика	Целевое значение	Достигнутое значение
Производительность (ручной режим)	≥600 яиц/час	620 яиц/час
Производительность (автоматический)	≥3 600 яиц/час	3 720 яиц/час
Время анализа (inference)	≤200 мс	187 мс
ROC-AUC (оплодотворённость)	≥0,98	0,985
ROC-AUC (ранняя гибель)	≥0,95	0,957
Recall (оплодотворённость)	≥0,96	0,964
Precision (оплодотворённость)	≥0,96	0,968
F1-score (трещины)	≥0,85	0,87
mAP@[.5:.95] (трещины)	≥0,70	0,73

Превышение целевых уровней по всем метрикам подтверждает корректность выбранных архитектурных решений, достаточность обучающей выборки и устойчивость метода к вариабельности входных данных.

На рисунках 15 и 16 представлены примеры визуализации результатов анализа для разных типов яиц, которые могут быть включены в отчёт или выведены на интерфейс оператора.

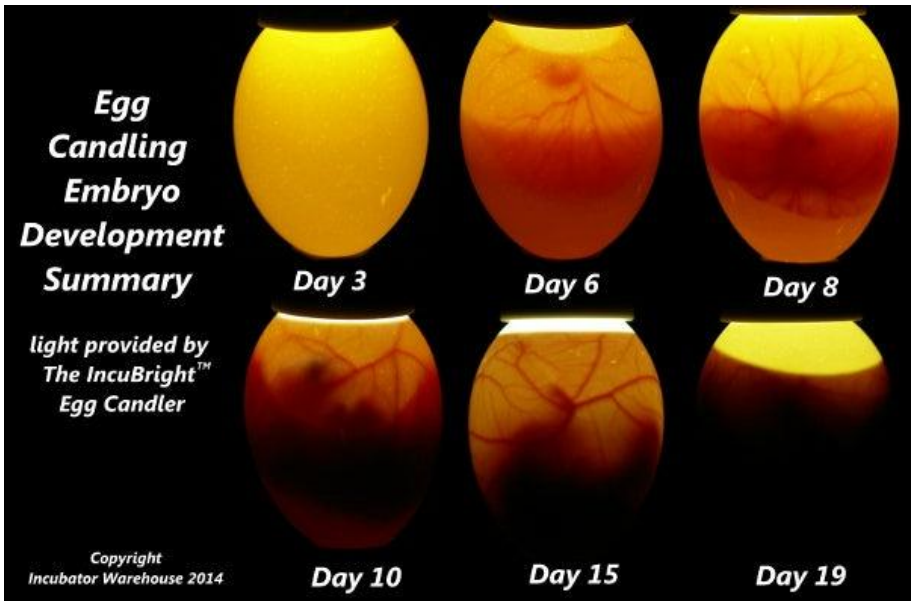


Рисунок 15 — Стадии развития эмбриона при овоскопировании (Day 3 --- Day 19)

Рисунок 16 иллюстрирует, как нейросеть может отслеживать развитие эмбриона на разных стадиях инкубации, что является ключевой функцией для определения оплодотворенности и ранней гибели зародыша.

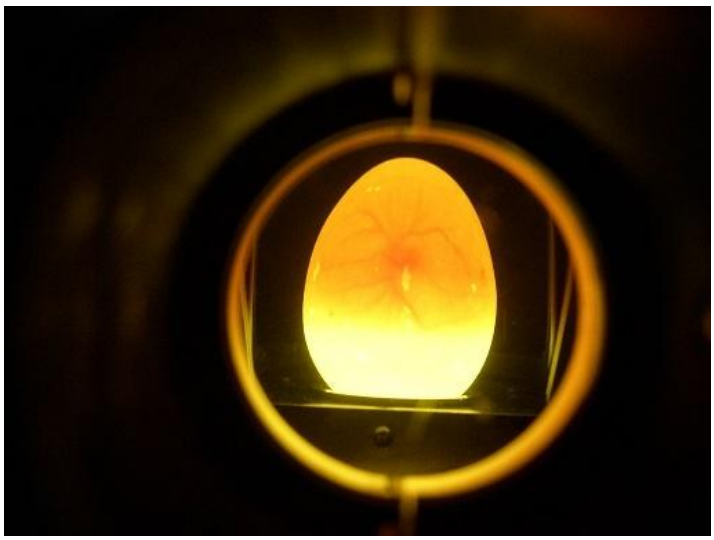


Рисунок 16 — Овоскопирование яиц для оценки качества

На рисунке 16 показан процесс получения овоскопических снимков, которые являются основным источником данных для модели классификации оплодотворенности и жизнеспособности эмбриона.

Выводы по результатам работы нейронной сети.

1. Высокая точность классификации: нейросетевая модель достигает ROC-AUC 0,985 для оплодотворённости и 0,957 для ранней гибели, что соответствует заявленным требованиям и обеспечивает надежную автоматизацию инкубационного контроля.

2. Эффективная детекция дефектов: F1-score для обнаружения трещин составляет 0,87, что позволяет выявлять даже мелкие (волосяные) трещины, критически важные для отбраковки.

3. Точные геометрические измерения: погрешность определения линейных размеров не превышает 0,4 мм, объёма — 0,8%, что достаточно для сортировки яиц по размерным категориям.

4. Высокая производительность: система обрабатывает одно яйцо за 187 мс, обеспечивая пропускную способность более 3 700 яиц в час на одной линии конвейера.

5. Готовность к промышленной эксплуатации: наличие механизмов самопроверки, валидации и структурированного вывода результатов позволяет интегрировать систему в существующие линии сортировки и инкубационные комплексы.

3.4 Выводы по главе 3

В третьей главе 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.

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.

2. 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.

3. 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 σ = 3–5 пикселей) и 3D-реконструкции координат с последующим вычислением линейных промеров (длина туловища, глубина груди, ширина груди, длина киля, длина плюсны, ширина таза). Разработаны и формализованы два оригинальных индекса телосложения: индекс туловища (ИТ) и индекс типа телосложения (ИТТ), позволяющие комплексно оценивать пропорции тела птицы.

4. Разработана математическая модель морфометрии яиц по 3D-изображениям, включающая аппроксимацию формы яйца двумя несимметричными полуэллипсоидами. На основе модели вычисляются 11 морфометрических параметров: большой и малый диаметры, длина большей и меньшей окружностей, площадь продольного и поперечного сечений, площадь поверхности, объем, угол острого конца и индекс формы. Абсолютная погрешность определения линейных размеров составляет не более 0,4 мм, объёма – не более 0,8%, площади поверхности – не более 1,2%.

5. 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~~ «тёк», включение, наросты). Эмпирически установленные пороговые значения: $A_{\min}$ = 5 пикселей, $W_{\max}$ =3 пикселя, $C_{\max}$ = 0,5, T_{dent} = 1,5 мм, T_{perf} = 5 мм, T_{color} = 5 ед. CIELAB. Точность обнаружения трещин (F1-score) достигла 0,87, mAP@[.5:.95] – 0,73.

6. Разработана математическая модель классификации оплодотворенности и ранней гибели эмбриона на основе овоскопических изображений. Модель включает: нормализацию яркости и контраста (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 → 256 → 128 → 64 → 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.

7. 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 ≥ 0,98);
- ROC-AUC для ранней гибели эмбриона – 0,957 (при целевом ≥ 0,95);
- Precision (оплодотворённость) – 0,968 (при целевом ≥ 0,96);
- Recall (оплодотворённость) – 0,964 (при целевом ≥ 0,96).

8. 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.

ГЛАВА 4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ

4.1 Технология кормления и содержания ремонтного молодняка и кур-несушек родительского стада

Важнейшей задачей современного птицеводства является повышения уровня реализации биологического потенциала, получение максимальной продуктивности за счет повышения жизнеспособности молодняка, продуктивности и плодовитости кур в условиях промышленной технологии и интенсивной эксплуатации [173].

Исследование «вегетативных» функциях организма уже давно используются в практической зоотехнии. Разработаны и апробированы приемы рационального кормления птицы, оптимальные режимы освещения и параметров микроклимата, плотности посадки, полового соотношения и ряд других технологических приемов, связанных с содержанием и эксплуатацией племенной и товарной птицы при различных интенсивных системах содержания [173, 174].

Интенсивная технология содержание птицы может негативно отражается на ее продуктивности и репродуктивных способностях за счет увеличения числа неблагоприятных факторов, действующих на нее. К воздействиям, обусловленным промышленной технологией выращивания и содержания птицы, относят: «социальные» факторы, вызванные высокой плотностью посадки и содержанием многотысячного поголовья в одном помещении, смена кормления и содержания, изменяющийся световой день, изменение состава группы при выбраковке, ограничение в двигательной активности и др.

С целью обеспечения максимального уровня реализации генетического потенциала продуктивности кур современных кроссов при разработке и создании инновационных технологий и их техническом оснащении учитывают биологические ритмы птицы, их реакцию на силу света и цвет освещения, цветовые и кормовые предпочтения кур, их локомоторные особенности. Изменяя

конструкцию клеток, с учетом поведения кур, необходимо создавать комфортные условия для их содержания, обусловлено и связано с биологией птицы [173, 174].

Современное промышленное птицеводство базируется на использовании высокопродуктивной гибридной птицы, рациональном кормлении, на достижениях в области ветеринарии, селекции, технологии менеджмента и др. [195].

4.1.1 Анализ условий содержания ремонтного молодняка и кур-несушек родительского стада

Выращиванию ремонтного молодняка птицы на предприятии (ООО «Птицеплемсовхоз «Увинский»» Увинского района Удмуртской Республики) осуществляется в соответствии с технологическим параметрами и нормативными требованиями, разработанными для данных генетических и технологических групп, так как от этого зависят воспроизводительные качества будущего родительского стада. Основной целью выращивания является получение однородного стада хорошо развитой птицы, приспособленной к длительному продуктивному периоду.

Для выращивания ремонтного молодняка кур на предприятии имеются производственные корпуса различной вместимости. Вместимость корпуса зависит от его габаритов и формирования отдельных залов. Поскольку численность завозимых цыплят относительно невысокая, то для их выращивания производственный корпус разделен на два зала и оборудован клеточными батареями ТБЦУМ в 3-х ярусном исполнении. В данном комплекте оборудования для раздачи кормов используются желобковые кормушки с бункерами, из которых рассыпается корм одновременно на все ярусы. Система поения птицы ниппельная, смонтированная из расчета на 6-8 голов одна ниппельная поилка.

Уборка помета осуществляется с помощью ленточного транспортера. В систему удаления помета входят полипропиленовые ленты, боковые направляющие, приподнимающие края ленты и встроенный пометный дефлектор.

Система кормления. Система кормления состоит из бункера наружного хранения корма (рисунок 17), транспортера наклонного и горизонтального поперечной загрузки корма, механизма раздачи корма на каждой батарее.



Рисунок 17 – Бункер наружного хранения корма

Бункер наружный предназначен для хранения 3-х дневного запаса корма, с целью поддержания бесперебойного процесса кормления. Корм в бункер загружается автомобильным загрузчиком с механической или пневматической загрузкой. Бункер имеет цилиндрическую форму, установлен на четырех опорах. Нижняя часть бункера имеет форму перевернутого конуса для

согласования с наклонным транспортером поперечной загрузки. Бункер изготовлен из листовой оцинкованной стали, гофрированной, что придает конструкции бункера большую жесткость. Серебристый цвет защищает корм в летнее время от перегрева.

Наклонный и горизонтальный транспортеры поперечной загрузки корма предназначены для подачи корма из наружного бункера в бункеры кормораздатчиков на батареях. Рабочий орган этих транспортеров - спираль. Рабочий орган закрыт в пластмассовой трубе полностью, что предотвращает пыление при работе. Процесс загрузки корма в бункеры батарей осуществляется через отводные трубы в каждый бункер. Процесс загрузки начинается от ближней батареи к бункеру наружному, последовательно и заканчивая самой дальней. Загрузка корма в бункеры прекращается автоматически после заполнения последнего бункера.

Механизм кормораздачи бункерного типа служит для распределения комбикорма по лоткам кормовым. Механизм кормораздачи состоит из двух составных бункеров, установленных на специальной тележке, перемещающейся по рельсовому пути, поверх батареи клеток посредством канатной тяги, приводимой в движение мотор-редуктором. На батарее применены составные бункеры кормозагрузки — это сделано с целью предотвращения залегания комбикормов с повышенным содержанием жиров и влаги. Бункеры, сделаны из листовой стали, представляющие из себя конструкцию коробчатой формы. Бункера заполняются комбикормом через специальные каналы, позволяющие заполнить все части и препятствующие пересыпанию комбикорма из яруса в ярус во время кормораздачи. Тележка представляет собой стальную раму, установленную на ролики, которые катятся по уголкам-рельсам. На тележке имеется специальная лебедка, для натяжения приводного каната. На выходном валу мотор-редуктора установлен приводной барабан специальной конструкции, через который крутящий момент передается канату, для перемещения кормораздатчика. Регулировка нормы распределения корма на этих бункерах

осуществляется с помощью подьема или опускания шиберов бункера относительно днища кормового лотка, для этого необходимо отпустить гайки крепления шибера к бункеру, установить нужный зазор между шибером бункера и днищем кормушки. После этого гайки затянуть.

Система поения. Система поения предназначена для подачи воды, отвечающей требованиям по качеству «Вода питьевая», в линии поения, расположенные на две стороны батареи на каждом ярусе батареи клеток.

Система поения состоит из:

- узла водоподготовки;
- разводки воды по батареям;
- бачков поения;
- линий поения.

Узел водоподготовки. Узел водоподготовки предназначен для очистки воды от механических примесей, учета количества потребляемой воды, контроля давления в системе, ввода медпреператов и витаминов через воду при помощи медикатора. Блок водоподготовки показан на рисунке 18.

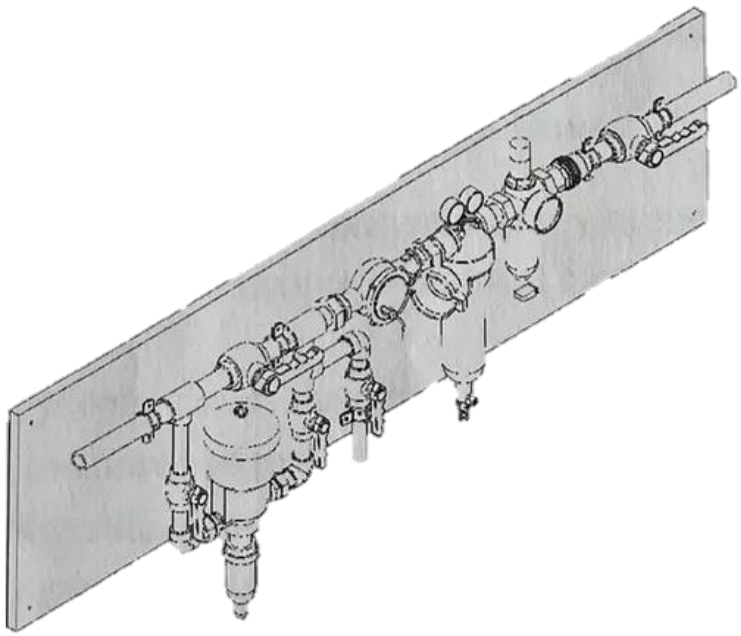


Рисунок 18 - Блок настенный системы водоподготовки

Разводка воды. Разводка воды от узла водоподготовки к батареям клеток осуществляется пластиковой трубой с соответствующей пластиковой соединительной и запорной арматурой.

Бачки поения. Для подачи воды и регулирования давления в линиях поения используются водорегулирующие бачки с поплавковым клапанным механизмом. На каждом ярусе устанавливается один бачек. Для регулирования давления в линиях поения рама, на которой установлены бачки, может перемещаться по высоте и устанавливаться на необходимом уровне.

Линии поения. Линии поения выполнены из квадратной пластмассовой трубы размером 22 мм х 22 мм в боковую стенку, которой ввинчены ниппельные поилки (рисунок 19). Трубы поения соединяются между собой в линии при помощи резиновых муфт с металлическими хомутами. Заканчиваются линии поения прозрачным шлангом, поднятым вертикально, для контроля наличия воды в линиях поения. Линии поения размещены на две стороны батареи.

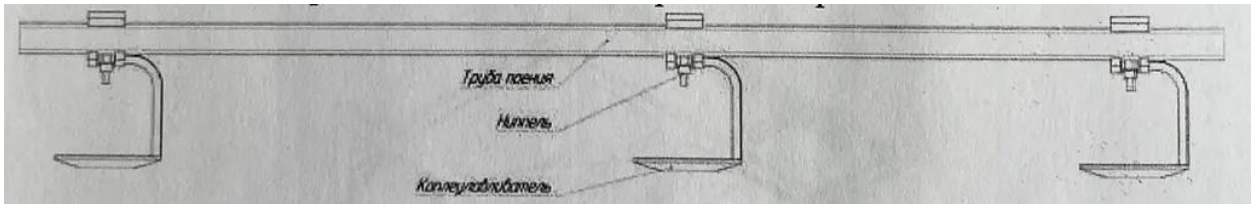


Рисунок 19 - Труба поения с ниппельной поилкой и каплеулавливателем

Таким образом, рассмотренные системы кормления и поения обеспечивают бесперебойную подачу корма и воды, создавая необходимые условия для нормальной жизнедеятельности и роста птицы. Наряду с этим, важнейшим элементом поддержания санитарного благополучия в птичнике является своевременное удаление помета. На предприятии данный процесс также полностью механизирован. Устройство и принцип работы системы пометоудаления описаны ниже.

Система пометоудаления предназначена для удаления помета из-под каждого яруса клеток за пределы здания птичника, с последующей погрузкой в транспортные средства.

В состав системы уборки помета входят:

- натяжная станция продольного пометоудаления;
- приводная станция продольного пометоудаления;
- лента транспортерная продольного пометоудаления;
- поперечный горизонтальный и наклонный транспортеры пометоудаления.

Натяжная станция пометоудаления (рисунок 20) предназначена для натяжения лент продольных транспортеров поярусной уборки помета. Она состоит из рамы, на которой в корпусах установлены натяжные барабаны. Корпуса крепления натяжных барабанов соединены между собой через звездочки, расположенные на натяжных винтах, цепью синхронизации движения. К ним же крепятся чистики с лотками грязеулавливателями для натяжного барабана. Для фиксации положения барабана применяется стопорный винт, который расположен под осью барабана, он прижимает ползунок к корпусу станции. раз выставить параллельность барабанов и в дальнейшем выполнять натяжение ленты, не регулируя ее. Для регулировки движения ленты необходимо рассоединить цепь синхронизации и с помощью ключа провести работы по регулировке движения ленты. Очень важно в первый месяц эксплуатации внимательно следить за регулировкой и натяжкой ленты, так как она имеет определенный коэффициент линейного удлинения. Чистики должны быть расположены на расстоянии не более 0,5 мм от барабана.

Станция для привода ленты имеет ведущий барабан и прижимной ролик. Между ними крутящий момент передается посредством шестеренчатой передачи. Прижим валов и глубина зацепления регулируются только с одной стороны блока, со стороны привода. Конструкция блока привода имеет регулировку как степени зацепления валов, так и регулировку движения ленты. Со

стороны цепной передачи крутящего момента от мотор-редуктора к звездочкам расположены шестерни зацепления. Для регулировки зацепления надо отпустить стопорную гайку (место расположения на щеке блока), и с помощью болта, вращающегося в неподвижно установленной гайке, провести изменение зазора зацепления. Зацепление зубьев должно быть надежным. Другая сторона станции дает возможность проведения регулировки движения ленты при ее смещении на приводном барабане. В этом случае двигается вся щека блока привода. Чистики барабанов - отдельные пластиковые ножи, пружинами поджимаются к поверхности прижимного ролика. При эксплуатации оборудования зазор между чистиком и прижимным роликом должен быть не более 1мм. В противном случае происходит налипание помета на поверхность ролика и как следствие - выход из строя узла привода продольного пометодаления.

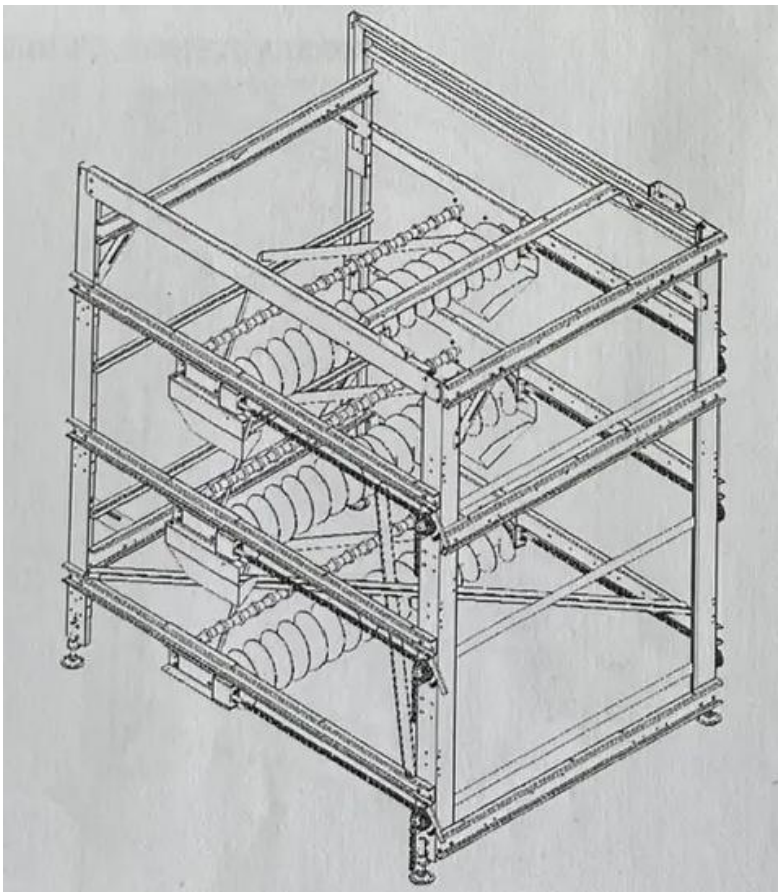


Рисунок 20 - Натяжная станция продольного пометоудаления

Система пометоудаления представлена на рисунке 21.

Лента продольного транспортера пометоудаления предназначена для накопления, транспортирования, подсушки и сброса помета на поперечный горизонтальный транспортер, которым удаляется помет из птичника. Уборку помета необходимо производить не реже одного раза в сутки.



Рисунок 21 - Приводная станция продольного пометоудаления

Поперечный горизонтальный (Рис. 22а) и наклонный (Рис. 22б) транспортеры пометоудаления предназначены для удаления помета из птичника и погрузку в транспортное средство. Транспортеры имеют приводную и натяжную головки. Регулировка продольного движения ленты выполняется при помощи регулировочного болта, двигающего щеку с корпусом подшипника. Натяжная головка расположена с противоположной стороны привода.

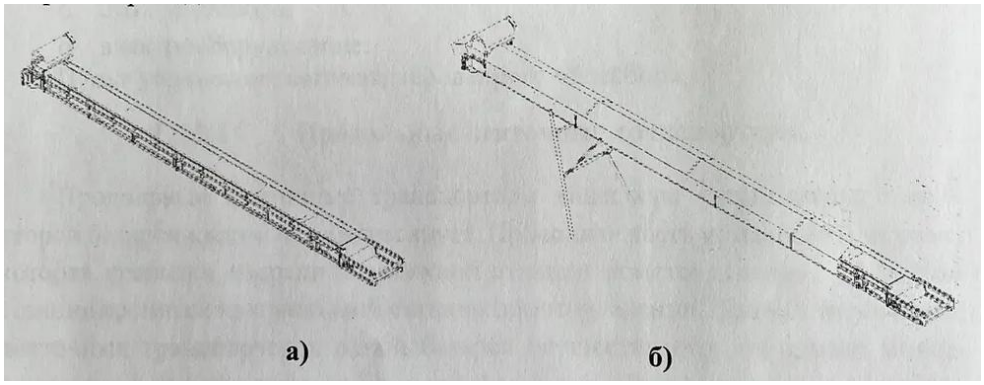


Рисунок 22 - Поперечный транспортер пометоудаления: а) горизонтальный транспортер; б) наклонный транспортер

Натяжение ленты и регулировка её движения осуществляется при помощи натяжных болтов. В верхней части расположен мотор-редуктор, приводящий в движение ленту посредством цепной передачи, которая закрыта защитным кожухом. Для удаления налипшего помета установлен подвижной чистик, который прижимают две пружины. Наклонный транспортер имеет вспомогательный чистик, расположенный ниже основного. Для натяжения ленты используются винты из вставок. При начальной натяже достаточно использование винтов. При дальнейшей эксплуатации, в случае необходимости натяжения ленты, зафиксировать вал и снять вставки. Винты ввинтить до места крепления вставок и закрепить. Это дает возможность экономить пространство приямка. Со стороны натяжного барабана располагается лоток-грязеулавливатель, он же чистик для барабана. При регулировке натяжки ленты передвинуть чистик-лоток к барабану, зазор должен быть 0,5-1 мм.

Параметры установленного оборудования приведены в таблице 23.

Таблица 23 – Основные технические данные оборудования

Наименование показателей	Единица измерения	Значение характеристик
Бункер хранения кормов		
1 Тип: SG361-M	-	цилиндрический
2 Вместимость, не менее	$м^3$	21,26
Транспортер нагрузки корма		
3 Тип рабочего органа	-	спираль
4 Мощность привода	кВт	0,75

Продолжение таблицы 23

Наименование показателей	Единица измерения	Значение характеристик
5 Диаметр трубы	Мм	90
6 Производительность	т/ч	2,6
Батареи клеточные		
7 Тип	-	ТСВР
8 Габаритные размеры - ширина: - высота:	мм	 1415±50 2498 ± 50
9 Габаритные размеры клетки: - ширина: - глубина: - высота фасада:	мм	 1830±5 1050±5 768±5
10 Наклон решетки пола	град.	6-8
11 Количество птицы в клетке, не более	гол	32
12 Удельная площадь пола клетки на 1 гол, не менее	$см^2$/гол	600,4
Система кормления		
13 Тип кормораздатчик	Тип	бункерный
14 Количество на одну батарею	Шт.	1
15 Мощность привода	кВт	0,55
16 Скорость движения, не более	м/мин	12
17 Вместимость бункера кормораздатчика, не менее	$дм^3$	329
18 Удельный фронт кормления, не менее	см/гол	11,4
Система поения		
19 Тип	-	ниппельная
20 Количество поилок на клетку	шт.	6
21 Удельный фронт поения	гол. /ниппель	5,33
Система уборки помета		
22 Продольный транспортер	-	ленточный
23 Мощность привода	кВт	1,5
24 Ширина ленты	мм	990
25 Тип - горизонтальный ТВС500А-00.000А - наклонный ТВС500А-00.000А-01	 - -	 ленточный L=21 м ленточный L =10 м
26 Мощность привода	кВт	2,2
27 Скорость движения ленты транспортеров	м/мин	39±2
28 Ширина ленты	мм	500
Система яйцесбора		

Окончание таблицы 23

Наименование показателей	Единица измерения	Значение характеристик
29 Продольные транспортеры: тип	-	ленточный
30 Ширина ленты	Мм	100
31 Мощность привода	кВт	0,37
32 Скорость движения ленты	м/мин	6
33 Лифт, мощность	кВт	0,37
34 Стол накопитель - продольный	мм	1600х1200
Электрооборудование		
35 Питание от сети переменного тока: Напряжение: Частота:	В Гц	380/220 ±10% 50 ± 2%

Клетчатая батарея для содержания молодняка представлена на рисунке 23.



Рисунок 23 – Клеточная батарея VALLI для содержания молодняка птицы

Перед приемом цыплят в каждую клетку (на подножную решетку) расстилают 5 листов бумаги размером 20×30 см. До посадки цыплят на бумагу рассыпают слой корма. Внутри клетки на площади, не покрытой бумагой, рядом с ниппелем устанавливают одну вакуумную поилку с подогретой водой. Предварительно основную линию кормления заполняют кормом. В средний ярус рассаживают суточных курочек по клеткам, начиная с самых дальних от входа в помещение, строго соблюдая норму плотности посадки – 350 см²/гол. При этом обеспечивается необходимый фронт кормления и поения.

Для обеспечения микроклимата в птичниках используются циркуляционный и вытяжной вентиляторы. Технические характеристики циркуляционного вентилятора представлены в таблице 24, вытяжного вентилятора – в таблице 25.

Таблица 24 – Технические характеристики циркуляционного вентилятора

Параметр	Значение
Марка вентилятора	FS-400-01
Диаметр лопастей, мм	360
Скорость вращения двигателя, мин $^{-1}$	1380
V, м^3/час, при 0 Па	4200
Шум, Дб	≤ 70
Мощность, кВт	0,25
$U_{пит}$, В	380
Габаритные размеры, мм: - диаметр - ширина	 400 400

Таблица 25 – Техническая характеристика вытяжного вентилятора WF-750

Параметр	Значение
Тип	Вытяжной, туннельный с жалюзи, с прямым приводом
Производительность	10 600 м³/ч (при 0 Па)

Окончание таблицы 25

Параметр	Значение
Диаметр рабочего колеса	600 мм
Скорость вращения	940 об/мин
Уровень шума	< 70 dB
Напряжение питания	380 В (50 Гц)
Мощность двигателя	0,37 кВт

Отопительное оборудование.

Для поддержания оптимального температурного режима в птичниках в холодный период года, а также в первые дни выращивания цыплят, когда их терморегуляция ещё несовершенна, на предприятии используется система воздушного отопления на основе газовых тепловентиляторов – так называемых газовых пушек. Данное оборудование обеспечивает быстрый нагрев воздуха, равномерное распределение тепла по объёму помещения и возможность точного поддержания заданной температуры в соответствии с технологическими нормативами для различных возрастных групп птицы.

Газовые пушки устанавливаются стационарно на полу или подвешиваются к несущим конструкциям птичника, равномерно распределяясь по всей длине здания. Принцип работы газовой пушки заключается в сжигании природного или сжиженного газа в камере сгорания с последующей принудительной подачей нагретого воздуха в помещение с помощью встроенного осевого или центробежного вентилятора. Продукты сгорания удаляются через дымоход, что исключает загрязнение воздуха в зоне содержания птицы. Технические характеристики газовых пушек, используемых в хозяйстве, представлены в таблице 26.

Таблица 26 – Технические характеристики газовых пушек

Параметр	Значение
Тип	Воздушная тепловая пушка с закрытой камерой сгорания
Тепловая мощность, кВт	30–100 (в зависимости от модификации)
Расход природного газа, м³/ч	3,2–10,5
Напряжение питания, В	380
Потребляемая электрическая мощность, Вт	250–500
Производительность по воздуху, м³/ч	1500–4500
Степень защиты	IP54
Управление	Автоматическое (от термостата) или ручное

Система отопления интегрирована в общую систему микроклимата птичника. Включение, выключение и режим работы газовых пушек регулируются автоматически с помощью программируемых термостатов или контроллеров микроклимата, которые получают сигналы от датчиков температуры, установленных в разных зонах помещения и на каждом ярусе клеточных батарей. Это позволяет поддерживать температуру в заданных пределах (например, +35...+36 °C для цыплят в первые сутки и +18...+20 °C для взрослой птицы) с высокой точностью, избегая как перегрева, так и переохлаждения.

В первые дни выращивания цыплят все входные и выходные вентиляционные отверстия плотно закрыты заслонками, вентиляторы выключены. Вентиляторы включают постепенно (в зависимости от температуры и загазованности воздуха в помещении). При вентилировании следят, чтобы помещение не охлаждалось чрезмерно, и чтобы в нем, не было сквозняков. Ремонтный молодняк выращивают при поддержании в помещении следующих парамет-

ров температурно-влажностного режима (таблица 27). Содержание углекислого газа должно быть не более 0,20% по объему воздуха, аммиака – не более 15 мг/м³, сероводорода – не более 5 мг/м³.

Таблица 27 - Температурно–влажностный режим при выращивании ремонтного молодняка

Возраст птицы, суток	Оптимальная температура воздуха в корпусе, ºС	Оптимальная влажность воздуха, %	Воздухообмен	
			в холодный период	в теплый период
1-2	+35…+36	60-70	0,1-0,2	0,1-0,2
3-4	+33…+34	60-70	0,1-0,2	0,1-0,2
5-7	+31…+32	60-70	0,1-0,2	0,1-0,2
8-14	+28…+29	60-70	0,8-1,0	0,8-1,0
15-21	+26…+27	60-70	0,8-1,0	5,0
21-28	+22…+24	60-70	0,8-1,0	5,0
28-35	+18…+20	60-70	0,8-1,0	5,0
35-42	+18…+20	60-70	0,8-1,0	5,0
42-49	+18…+20	60-70	0,8-1,0	5,0
49-56	+18…+20	60-70	0,8-1,0	5,0
56-63	+18…+20	60-70	0,8-1,0	5,0
63-70	+18…+20	60-70	0,8-1,0	5,0
70-119	+18…+20	60-70	0,8-1,0	5,0

Выращивание цыплят в первые четыре недели осуществляется при снижении температуры воздуха с +35…+36°С (первые-вторые сутки) до +18…+20°С (с 28 суток до 119 суток). Данный способ вариации температурного режима закономерен, так как в первые дни жизни (особо в первую неделю) жизни терморегуляция у цыплят не развита, поскольку в данный период отсутствует оперение, свойственное для взрослой птицы. «Правильное оперение» - один из важнейших факторов, позволяющий птице должным образом регулировать свою температуру, своевременно сформированное оперение является показателем «нормального» развития молодняка кур. После формирования оперения вокруг тела цыпленка формируется теплоизоляционная воздушная подушка, соответственно, начинает сохраняться баланс между образованием тепла и расходом теплопродукции.

С пятой недели выращивания и в это время устанавливают комфортную температуру, значение которой поддерживают до конца выращивания птицы.

Воздухообмен регулируют по мере роста птицы, таким образом, чтобы не было сквозняков, особенно в осенне-зимний период.

В первые сутки выращивания цыплят в птичнике контролируют наполнение поилок, чтобы уровень воды в них был максимальным. Как только цыплята привыкают к потреблению воды из поилок, уровень воды снижают во избежание выплескивания. Температура питьевой воды первые 3 дня в пределах +31…+33°С, на 4-7 дней +28…+30°С, на 8-14 дней +26…+28°С, на 15-21 день +24…+26°С, на 22-28 дней +22…+24°С, на 29-35 дней +20…+22°С, а затем до конца выращивания +18…+20°С.

Во избежание расклева (каннибализма) птицы и россыпи корма молодняку производят частичную обрезку клюва (дебикирование) в 7-10 дневном возрасте.

В 3-недельном возрасте цыплят равномерно рассаживают по всем ярусам в зависимости от живой массы: на нижний ярус - птицу с живой массой ниже средней, на средние ярусы - со средней живой массой и на верхний ярус – птицу с массой выше средней по стаду. После рассадки стараются не нарушать сложившиеся сообщества птицы.

Большое значение для цыплят имеют продолжительность светового дня и интенсивность освещенности. При выращивании ремонтного молодняка на предприятии используют постепенно сокращающийся прерывистый световой режим (таблица 28).

Для цыплят в первые сутки выращивания требуется яркое освещение 50 лк, чтобы они могли свободно отыскивать корм и воду. К концу первой недели жизни продолжительность светового дня доводят до 22 часов в один прием, снижая интенсивность освещенности до 20-30 люкс. К концу третьей недели жизни продолжительность светового дня доводят до 15 часов в один прием, резко снижая интенсивность освещенности уже до 5 люкс. К 9 неделе жизни доводят продолжительность светового дня до 9 часов в один прием, поддерживая интенсивность освещенности на уровне 5 люкс. Это необходимо для

того, чтобы птица в условиях лимитированного кормления не проявляла излишнюю активность, а также в качестве профилактики расклева и каннибализма. С 10 недели начинают разделение светового дня на два периода, вводя сначала получасовой, а затем часовой промежуток темноты в середине. За 10 дней до перевода в куры световой день увеличивают до 10 часов, устанавливая дополнительный световой период с $2^{\underline{00}}$ до $4^{\underline{00}}$.

Таблица 28 – Световой режим для ремонтного молодняка

Возраст птицы, сутки	Продолжительность освещения, час	Время включения света, час	Время выключения света, час	Интенсивность освещенности, люкс
1-2	24	-	-	30-50
3-4	23	$0^{\underline{00}}$	$23^{\underline{00}}$	20-30
5-7	22	$1^{\underline{00}}$	$23^{\underline{00}}$	20-30
8-14	18	$3^{\underline{00}}$	$21^{\underline{00}}$	10
15-21	15	$5^{\underline{00}}$	$20^{\underline{00}}$	5
22-28	13	$6^{\underline{00}}$	$19^{\underline{00}}$	5
29-35	11	$7^{\underline{00}}$	$18^{\underline{00}}$	5
36-42	10,5	$7^{\underline{30}}$	$18^{\underline{00}}$	5
43-49	10	$8^{\underline{00}}$	$18^{\underline{00}}$	5
50-56	9,5	$8^{\underline{00}}$	$17^{\underline{30}}$	5
57-63	9	$8^{\underline{00}}$	$17^{\underline{00}}$	5
64-70	8,5	$8^{\underline{00}}$ $12^{\underline{30}}$	$12^{\underline{00}}$ $17^{\underline{00}}$	5
71-98	8	$8^{\underline{00}}$ $13^{\underline{00}}$	$12^{\underline{00}}$ $17^{\underline{00}}$	5
99-119	10	$8^{\underline{00}}$ $13^{\underline{00}}$ $2^{\underline{00}}$	$12^{\underline{00}}$ $17^{\underline{00}}$ $4^{\underline{00}}$	5-10

Данная световая программа выращивания ремонтного молодняка птицы способствует получению половозрелых курочек и петушков о оптимальные сроки при экономном расходе электроэнергии.

Реализация описанной световой программы невозможна без использования современных энергоэффективных источников освещения, способных работать в условиях повышенной влажности, запылённости и агрессивной га-

зовой среды птичника, а также обеспечивать точное соблюдение заданных параметров продолжительности и интенсивности освещения. На предприятии для внутриклеточного освещения ремонтного молодняка применяются светодиодные светильники ISP LED 3300-24-32, монтируемые непосредственно в клеточных батареях. Данные светильники обеспечивают равномерную подсветку всех ярусов, низкое энергопотребление, защиту от влаги и пыли (IP65), а также длительный срок службы. Основные технические характеристики светильника представлены в таблице 29.

Таблица 29 - Основные технические характеристики

Параметр	Значение
Модель	ISP LED 3300-24-32
Назначение	Общее освещение птичников (внутриклеточное)
Напряжение питания	24 В постоянного тока (безопасное низкое напряжение)
Угол излучения	120 градусов
Степень защиты	IP65 (полная защита от пыли и водяных струй)
Срок службы	Не менее 50 000 часов

С целью систематического контроля роста и развития курочек молодняк периодически взвешивают. Для этого выделяют по 2 клетки в каждом ярусе клеточных батарей в 3 зонах помещения (по торцам и в середине зала). Данные клетки идентифицируют «Контрольная клетка». Цыплят из контрольных клеток взвешивают еженедельно, утром до кормления до 8-недельного возраста. Далее до перевода в промышленное стадо - с периодичностью 1 раз в 2 недели. В возрасте 6, 10 и при переводе в промышленное стадо после индивидуального взвешивания определяют однородность стада. Однородность стада должна быть не менее 80%. На предприятии проводится ежедневный учет потребленных птицей кормов и воды, а также состояние помета.

Перевод птицы из корпусов для выращивания молодняка в корпуса для взрослого поголовья проводят в возрасте 95-105 суток. Затем на протяжении 45-55 проводят доращивание молодняка в родительском стаде. Петухов переводят на 2-3 дня раньше, чем курочек. Такой прием позволяет петухам создать иерархии и в дальнейшем занять доминирующее положение над курами. По окончании доращивания комплектуют родительское стадо в половом соотношении 1:7,5–8. Срок эксплуатации родительского стада составляет на уровне не менее 72 недель. Для содержания родительского стада в корпусах смонтированы клеточные батареи ТБР в трехъярусном исполнении (рисунок 24).



Рисунок 24 – Содержание родительского стада в клеточной батарее ТБР

Конструктивные особенности клеточной батареи предусматривают организацию кормораздачи с помощью бункерного раздатчика, поение птицы осуществляется из ниппельных поилок. Помет из батарей убирается при помощи ленточного транспортера. Сбор яйца предусмотрен автоматический: сначала яйцо выкатывается из клетки на продольный транспортер за счет наклонной половой решетки, затем транспортируется на лифтовый поперечный транспортер и поступает к месту сбора на накопительный стол (рисунок 25).



Рисунок 25 – Система сбора яйца в клеточной батарее ТБР

Как видно из рисунка 25, автоматизация сбора яйца позволяет значительно сократить трудозатраты и снизить риск повреждения яиц. Рассмотрим устройство и принцип работы данной системы более подробно.

Система сбора яиц предназначена для транспортировки яйца от места снесения к столу укладки его в тару и упаковки.

В систему сбора яиц входят:

- продольные ленточные транспортеры;
- лифтовый транспортер;
- поперечный ленточный транспортер;
- наклонный прутковый транспортер;
- стол сбора яиц;
- электрооборудование:
- пульт управления автоматизированого сбора яиц.

Продольные ленточные транспортеры сбора яиц установлены с двух сторон батареи клеток на каждом ярусе. Приводная часть установлена на раме, которая крепится впереди к натяжной станции пометоудаления. Натяжная станция крепится на приводной станции пометоудаления. Привод продольных ленточных транспортеров одной батареи осуществляется от одного мотор-редуктора и цепных передач на приводные валы. Приводные станции одного яруса соединены приводным валом. Лента транспортера уложена в лоток, от-

формованный в решетке пола, под кормовым лотком. За счет конструкции решетки пола яйцо скатывается на транспортерную ленту. Питание электродвигателей приводов продольных транспортеров сбора яиц осуществляется через частотный регулятор. Это дает возможность плавно регулировать скорость движения лет продольных транспортеров.

Лифтовый транспортер предназначен для установки поперечного транспортера на нужный ярус. Рабочим органом лифта является цепь. На каждой батарее установлена стойка, которая выполняет роль направляющей для движения лифта вверх и вниз. На кронштейне подьема лифта расположена лыжа, которая передает усилие на механизм включения продольных транспортеров. Через систему пружин штифт заходит в зацепление со звездочкой, вращающейся от мотор-редуктора. Таким образом, происходит включение продольного транспортера сбора яиц при установке поперечного на необходимый ярус.

Наклонный и поперечный транспортеры имеют ступенчатую регулировку скорости путем переустановки приводного ремня, при этом скорость изменяться на 25%.

Взаимная скорость транспортеров подбирается таким образом, чтобы поперечный транспортер не был чрезмерно загружен яйцом. Если яиц много то, прежде всего, следует уменьшить скорость продольных транспортеров, если этого недостаточно, то можно увеличить скорость поперечного транспортера или собирать яйца, поочередно включая продольные ленты на батареях.

Продольный сбор яиц работает только при работающем поперечном сборе яиц.

Продольный сбор яиц работает только тогда, когда механизм подъема лифта установит поперечный транспортер на необходимый ярус.

Поперечный ленточный транспортер представляет собой рамочную конструкцию. На каркасе закреплены натяжная и приводная станции. Перемещение лифта по этажам происходит за счет включения электродвигателя через

редуктор посредством вала, соединенного между собой муфтами. В свою очередь вал вращает звездочки, которые приводят в движение цепи, поднимающие или опускающие поперечный транспортер. Наклонный прутковый транспортер закреплен шарнирно к поперечному транспортеру и к столу сбора яиц. Приводится в движение от одного привода с поперечным транспортером.

Стол сбора яйца предназначен для накопления яиц, поступающих с птичника. Поверхность стола выполнена с небольшим уклоном для равномерности размещения поступающих яиц. Угол наклона можно изменять, подбирая оптимальный. Технические характеристики приведены в таблице 22.

Плотность посадки птицы поддерживают на уровне 600 см²/гол, фронт кормления птицы – 11,4 см/гол, фронт поения кур и петухов– 8 голов на одну ниппельную поилку. Для снесения яиц имеются специальные гнезда в виде участков клетки, отгороженных брезентовыми шторками. Птицу родительского стада содержат при температуре воздуха +18…+22°С и его относительной влажности 60-70%. Скорость движения воздуха в теплый период года должна быть не более 5м/с, в холодный период поддерживается на уровне 0,8-1,0 м/с. Дополнительно контролируется состав воздуха. Предельно допустимое содержание углекислого газа – не более 0,25 %, аммиака – 15 мг/м³, сероводорода – 5 мг/м³.

Световой режим для взрослой птицы является продолжением световой программы при выращивании ремонтного молодняка. Данная программа является одним из важных факторов стимуляции яичной продуктивности птицы (таблица 30).

Таблица 30 – Световой режим для кур и петухов родительского стада

Возраст птицы, сутки	Продолжительность освещения, час	Время включения света, час	Время выключения света, час	Интенсивность освещенности, люкс
22-72	10	$8^{\underline{00}}$ $13^{\underline{00}}$ $2^{\underline{00}}$	$12^{\underline{00}}$ $17^{\underline{00}}$ $4^{\underline{00}}$	5-10

Контроль параметров микроклимата и заданного светового режима осуществляется в автоматическом режиме, а заданные и текущие значения соответствующих параметров выводятся на экраны системы микроклимата в режиме онлайн.

Сбор яйца начинают с началом рабочей смены сразу после включения света в утренние часы. Далее яйцо собирают в течение рабочего дня, но с интервалом не более чем через 90 минут. В птичниках собранное яйцо отсортировывают на пригодное к инкубации, пищевое яйцо, грязное яйцо и бой по визуальным признакам. Инкубационное яйцо укладывают в картонные кассеты, не бывшие в употреблении, которые стопками пакуют в картонные коробки. На каждой картонной коробке проставляется маркировка: номер корпуса и дата снесения яйца (рисунок 26). Коробки с инкубационным яйцом вывозят из корпусов через каждые 1,5 часа в инкубаторий.



Рисунок 26 – Упаковка инкубационного яйца в картонные коробки

Остальные калибры яйца укладывают в бугорчатые кассеты и отправляют по назначению в конце рабочей смены.

4.1.2 Анализ условий кормления ремонтного молодняка, кур-несушек и петухов родительского стада

При выращивании ремонтного молодняка используется четырехэтапная программа нормирования рецептур комбикормов. Производство комбикормов организовано в собственном кормоцехе предприятия.

Нормирование кормления специалистами осуществляется согласно рекомендациям компаний: «LOHMANN TIERZUCHT GMBH» (кросс кур «Ломанн Браун Классик» и «H&N International» (кроссы кур «Браун Ник», «Супер Ник», «Корал»). При определении норм кормления и разработка рецептов выбран вариант баланса питательных и минеральных веществ комбикормов на основе пшеницы как доминирующего компонента, процент ввода пшеницы в рецептуры комбикорма составил в зависимости от фазы выращивания молодняка 51,92-64,23%. Рекомендуемые значения показателей при нормировании рационов кормления молодняка приведены в таблицах А1-А4, представленных в приложении А.

Рецептуры комбикормов для ремонтного молодняка и значения их качества по нормируемым показателям представлены в таблице А5 (приложение А).

Следовательно, рецептура комбикорма рассчитана таким образом, чтобы в первый период молодняк достигал нормативной живой массы (с учетом допустимых отклонений ±10%), а к концу стартового периода масса должна быть максимально возможной или несколько выше рекомендуемой, что обеспечит высокую продуктивность кур.

С целью задержки раннего полового созревания молодняка кур в период с 6 по 17 недели (периоды ростовой и «Девелопер») в рецептуре комбикорма постепенно снижается уровень обменной энергии (с 1,17 до 1,078 МДж/100 г) и сырого протеина (с 18,21 до 15,5%). С 17 недели до 5% яйценоскости (предкладковый период) в составе комбикорма увеличивают корма с высоким со-

держанием сырого протеина и кальция. Поскольку целью предкладкового периода является подготовка курочек к полноценной яйцекладке, создается запас кальция в организме (процент известняковой муки или ракушечной муки увеличивается).

Энергетическая часть комбикормов во всех периодах выращивания молодняка представлена пшеницей. Ее доля составила 60,00-64,90%. В ростовой период в состав комбикорма дополнительно вводят ячмень и пшеничные отруби, снижая процент вводимой в рацион пшеницы.

В качестве балансирующего элемента по обменной энергии и источника линолевой кислоты в рецепте комбикорма введено подсолнечное масло в количестве 0,2-2,6% (период «Девелопер» и предкладковый период»). Протеиновая питательность рационов обеспечивается за счет использования на всех этапах кормления птицы подсолнечного шрота (от 7,0% до 15,0%), муки мясокостной (от 0,8% до 3,0%) и сои полножирной (первые два периода).

Содержание витаминов, минеральной части комбикорма, незаменимых аминокислот балансируют за счет ввода муки травяной люцерновой и БВМД (4,0%) Витомэк и Тетра с высоким их содержанием и усвоением.

БВМД изготавливают в кормоцехе предприятия по разработанным рецептурам для различных групп птицы.

В комбикормах стартового и ростового периодов наблюдается незначительный недостаток обменной энергии для кроссов молодняка «Корал», «Супер Ник» и «Браун Ник» (от высшей крайней границы показателя от 0,05 МДж/100 г до 0,0605 МДж/100 г). Остальные параметры качества рецептов находятся на уровне рекомендуемых нормативных значений, за исключением селена (недостаток составил 30-35 мг) и меди (недостаток 1 мг) по периодам выращивания. Использование данного рецепта комбикорма в стартовый и ростовой периоды позволяет цыплятам набирать живую массу на уровне рекомендуемых требований.

Комбикорм в период «Девелопер» содержит количество обменной энергии близкое к минимальному допустимому значению (1,08-1,14-1,15 МДж/100

г) – 1,078 МДж/100 г. Содержание сырого протеина рецептуры в период «Девелопер» соответствовало рекомендуемым значениям (15,5%). В данный период также отмечен недостаток селена и меди. Рецепт комбикорма в «Предкладковый» период содержит необходимое количество обменной энергии (1,138 МДж/100 г), количество сырого протеина несколько меньше рекомендуемых значений – на 0,27%.

Таким образом, используемые рецепты комбикормов для ремонтного молодняка позволяют получать предприятию кондиционных курочек, пригодных для комплектования промышленного стада.

В течение первых 2 недель жизни сухой корм раздают цыплятам 6 раз, с 2 до 8 недель жизни – 4 раза, а с 8 недель до конца выращивания – 3 раза, соблюдая точность и равномерность кормления согласно нормам выдачи, приведенным в таблице 31.

Таблица 31 – Нормы выдачи корма ремонтному молодняку

Возраст птицы, недель	Норма корма, г/гол	Возраст птицы, недель	Норма корма, г/гол	Возраст птицы, недель	Норма корма, г/гол
1	10	8	55	15	80
2	17	9	60	16	80
3	25	10	65	17	85
4	33	11	65	18	90
5	38	12	65	19	95
6	45	13	75	20	105
7	50	14	75	21	108

Таким образом, нормы выдачи корма ремонтному молодняку увеличиваются по мере взросления птицы: с 10 г/голову в сутки в 1-недельном возрасте до 108 г/голову в сутки к 21 неделе выращивания. Данный подход обеспечивает постепенное наращивание живой массы и подготовку организма к последующему продуктивному периоду.

После перевода в родительское стадо система кормления птицы изменяется в соответствии с продуктивным периодом. Кормление нормируют, устанавливая суточный лимит выдачи комбикорма, значения которого приведены в таблице 32.

Нормы выдачи корма курам-несушкам регулируют в зависимости от следующих факторов: динамика интенсивности яйценоскости, соотношение фактической и стандартной живой массы, однородность стада по живой массе, соотношение фактически потребленного количества корма с плановым.

Таблица 32 – Нормы выдачи комбикорма птице родительского стада

Возраст птицы, недель	Норма корма, г/гол	Возраст птицы, недель	Норма корма, г/гол	Возраст птицы, недель	Норма корма, г/гол
22	115	25	118-120	57-60	116
23	116	26-48	120	61 и старше	115-116
24	118	49-56	117-118		

В период начала яйцекладки используют прием авансированного кормления несушек для обеспечения интенсивной яйцекладки за короткий срок. Данный прием позволяет более полно реализовать потенциал продуктивности несушек по яйценоскости. Определение норм выдачи корма несушкам в указанный период проводят, контролируя прирост интенсивности яйценоскости до начала чрезмерного повышения живой массы. Для кормления птицы применяется сухой концентратный тип кормления при использовании полнорационных комбикормов. Используемая 3-х фазная схема нормирования рецептур комбикормов позволяет обеспечить приемлемый уровень яйценоскости несушек при получении яйца с невысокой себестоимостью.

Рекомендуемые значения показателей при нормировании рационов кормления родительского стада кур приведены в таблице А6, приведенной в приложении А.

Во всех периодах продуктивного периода кур энергетическая часть комбикормов представлена пшеницей, ячменем и пшеничными отрубями. Их суммарная доля составила 56,172-58,105%. В качестве баланса по обменной энергии и источника линолевой кислоты применяют подсолнечное масло в количестве 2,004-3,4%. Протеиновая питательность комбикормам обеспечивается за счет использования во всех периодах подсолнечного шрота и гороха в суммарном количестве 25,61-27%. Содержание незаменимых аминокислот балансируют за счет ввода синтетических препаратов (кормовой концентрат лизина, DL-метионин) с высоким их содержанием и усвоением.

Рецептуры комбикормов для родительского стада кур и значения их качества по нормируемым показателям представлены в таблице А7 (приложение А).

В качестве минеральной части комбикормов во все фазы продуктивного периода для кур используют известняковую и ракушечную муку как источник кальция, монокальцийфосфат как источник фосфора, поваренную соль и пищевую соду как источник натрия. Во все периоды эксплуатации кур в состав комбикормов включают премикс собственного производства в дозе 1,0%. Введение премикса обеспечивает комбикорма всеми необходимыми микроэлементами, витаминами и другими биологически активными веществами.

В комбикорме 1 фазы наблюдается недостаток по обменной энергии на уровне 0,135 МДж. Однако, рецепт полностью соответствует нормам по содержанию таких незаменимых аминокислот как лизин, метионин, цистин и триптофан. Также комбикорм отвечает нормам по содержанию сырого жира, сырой клетчатки. Недостаток обменной энергии птица восполняет за счет большего потребления комбикорма. Макро- и микроэлементные и витаминные параметры качества рецептов в целом находятся на уровне рекомендуемых норм.

Рецепт комбикорма 2 фазы содержит обменной энергии меньше на 0,16 МДж, чем необходимо по нормам. Содержание сырого жира, сырой клетчатки

отвечает рекомендуемым параметрам. Аминокислотная питательность, характеризующая биологическую ценность комбикорма, практически соответствует нормам. Однако количество триптофана превышает норму на 0,03%. Содержание макро- и микроэлементов в рационе соответствует рекомендуемым значениям. Содержание витаминов также отвечает основным потребностям организма несушек.

Рецепт комбикорма 3 фазы содержит обменной энергии меньше на 0,16 МДж, чем необходимо по нормам. Остальные рассматриваемые параметры нормирования рецептуры комбикорма соответствуют требованиям, предъявляемым к комбикорму данной фазы и программы кормления.

Организация бесперебойного и равномерного кормления птицы является одним из ключевых факторов успешного выращивания ремонтного молодняка. На предприятии данный процесс полностью механизирован и включает в себя несколько взаимосвязанных подсистем, которые обеспечивают подачу корма от наружного бункера до каждой клетки. Ниже приведено подробное описание устройства и принципа работы системы кормления, применяемой в клеточных батареях ТБЦУМ. При этом обеспечивается необходимый фронт кормления и поения.

4.2 Анализ интенсивности роста, формирования телосложения и оценка экстерьерных особенностей кур разных генетических групп

Породы яичных кур и кроссы, полученные на их основе, являются самой распространенной сельскохозяйственной птицей и широко используются в промышленном птицеводстве и в частном подворий. Основной задачей яичного птицеводства является повышение продуктивности птицы, улучшение их репродуктивных показателей, инкубационных качеств яиц и пищевой ценности яичной продукции [26, 56, 106, 107, 109].

Повышение продуктивности кур, пищевых и инкубационных качеств яиц на современном этапе решается на основе интенсификации технологий и селекционных процессов в птицеводческой отрасли, в том числе и за счет создания новых высокопродуктивных кроссов, обладающих высокими репродуктивными качествами и приспособленных к использованию в условиях промышленной технологии [219].

Генетически адаптированные кроссы кур, оптимальные условия микроклимата и полноценность рационов кормления «усиливают» вероятность получения физиологически здоровых и пропорционально «развитых» цыплят, а также интенсивность роста (живая масса, среднесуточные приросты) в соответствии с требованиями, которые предъявляют иностранные разработчики для ввозимых кроссов птицы [15, 16].

Молодняк яичных кроссов кур отличается интенсивным ростом и развитием, в том числе до пересадки в продуктивное стадо. Для формирования стада высокопродуктивными курами-несушками следует обращать внимание на достижение ими оптимальной массы в разные возрастные периоды: первые 8 недель, с 8 по 13-ю недели и с 13 по 20-ю недели. Особое внимание должно быть уделено предкладковому периоду молодняка кур, поскольку данный период является «перестройкой» организма «от молодняка к взрослому продуктивному животному», соответственно, любой стрессовый фактор, в первую очередь, повлечет снижение продуктивности. Для данного периода характерны «изменения» в репродуктивной системе (готовность к образованию и выведению яиц), «изменения» в общем обмене веществ [134, 135].

Отечественные и иностранные ученные и специалисты, анализируя результаты своих исследований в области роста и развития отмечают, что: «Грамотно организованное воспроизводство стада, выращивание молодняка кур в биологически обоснованных условиях кормления и содержания – является определяющим звеном в динамично развивающейся отрасли птицеводства, в том числе производства инкубационного и пищевого яйца. Генетически адаптированные кроссы кур, оптимальные условия микроклимата и полноценность

рационов кормления «усиливают» вероятность получения физиологически здоровых и пропорционально «развитых» цыплят, а также живой массы и среднесуточных приростов в соответствии с требованиями, которые предъявляют иностранные разработчики для ввозимых кроссов птицы. Максимально полное соответствие требованиям разработчиков по критериям выращивания молодняка кур позволяет сформировать здоровое, пропорционально-развитое стадо кур с генетически заложенной продуктивностью и качественными параметрами яиц» [135, 219].

Тип телосложения и некоторые признаки экстерьера у птиц являются постоянными, другие же (особенно у кур яичных пород) изменяются в зависимости от уровня продуктивности. При этом следует отметить, что только по внешним признакам невозможно установить уровень яичной продуктивности кур несушек, а также их массу и выводимость, но при оценке экстерьера можно выделить из стада лучших особей и повысить эффективность использования племенных ресурсов. Метод отбора кур-несушек по внешним признакам продуктивности применяют в племенных и товарных хозяйствах при комплектовании стад.

Хорошо выращенные курочки имеют правильное телосложение, прямые позвоночник и киль (грудная кость), блестящие округлой формы глаза с ярко окрашенной радужной оболочкой, плотное, чистое оперение, прямые ноги и пальцы ног.

4.2.1 Динамика живой массы и среднесуточных приростов ремонтного молодняка

Живая масса и среднесуточные приросты в возрастные периоды развития организма являются основными характеристиками роста и развития молодняка. Для исследований параметров роста и развития были сформированы четыре группы ремонтного молодняка (в каждой по 200 голов) в зависимости от генетического происхождения (кросса). В наших исследованиях для анализа

уровня интенсивности формирования организма подопытного растущего поголовья ежемесячно взвешивали молодняк и взрослых кур, размещенных в контрольных клетках. Параметры, характеризующие интенсивность роста и развития анализируемого поголовья птицы представлены в таблице 33.

Динамика величин живой массы и среднесуточных приростов имеют определенные биологические особенности формирования в разные возрастные периоды, которые свойственны для анализируемых подопытных групп молодняка, разного генетического происхождения (кроссов).

Живая масса анализируемых суточных цыплят в подопытных группах имела определенную вариабельность. У молодняка кроссов «Ломан Браун Классик» и «Браун Ник» живая варьировала от 33,1 г до 39,5 г и от 32,9 г до 41,2 г, при относительно низком коэффициенте вариации, который составил 3,7 % и 4,3 %, соответственно. В третьей группе молодняка («Корал») и четвертой («Супер Ник») от 32,3 г до 40,5 г (4,3%) и от 32,2 г до 41,4 г (3,9%), соответственно. Учитывая высокую корреляционную связь между массой яиц и массой суточных цыплят выявлена закономерно достоверно ($p \leq 0,01$) низкая живая масса суточных цыплят, полученных от яиц кур белых кроссов. Среднее живая масса суточных цыплят первой (36,3 г) и второй (36,1 г) группы была выше чем в третьей и четвертой группе на 2,8 %; 1,8% и 2,3 %; 0,8 %, соответственно. При этом следует отметить, что по живой массе суточных цыплят между группами коричневых кроссов («Ломан Браун Классик» и «Браун Ник») разница была относительно не высокой и составила 0,6%, а между группами белых кроссов («Корал» и «Супер Ник»), соответственно 1,4%.

Росту и развитию молодняка всех видов сельскохозяйственных животных в том числе и сельскохозяйственной птицы, свойственна периодичность фаз максимального роста и «замедления» интенсивности роста. При направленном выращивании молодняка кур особое значение приобретает знание временных периодов колебаний и своевременное реагирование на снижение (отставание) ростовых систем от нормативного «графика».

Таблица 33 - Динамика живой массы и среднесуточных приростов ремонтных молодок кур, (n=200)

Показатель	Группа/Кроссы											
	1			2			3			4		
	«Ломанн Браун-Классик»			«Браун Ник»			«Корал»			«Супер Ник»		
	x±Δx	lim	Cv %	x±Δx	lim	Cv %	x±Δx	lim	Cv %	x±Δx	lim	Cv %
Живая масса суточных цыплят, г	36,3± 0,11	33,1-39,5	3,7	36,1± 0,17	32,9-41,2	4,1	35,3± 0,21*	32,3-40,5	4,3	35,8± 0,16*	32,2-41,4	3,9
Возраст молодняка 0-7 день												
Живая масса на конец учетного периода, г	67,8±0,51	(59,4-72,5)	13,5	67,3±0,43	(59,2-72,1)	11,7	65,4±0,42*	(57,2-70,3)	9,4	63,9±0,52**	(52,2-69,4)	13,1
Среднесуточный прирост, г	4,57±0,13	(4,02-5,01)	8,9	4,46±0,19	(3,93-4,89)	9,3	4,31±0,15	(3,95-4,73)	8,5	4,01±0,11*	(3,39-4,62)	8,2
7-56 день												
Живая масса на конец учетного периода, г	692,3±9,35	(674,9-713,5)	8,7	687,4±9,62	(665,7-701,2)	11,1	634,9±9,81**	(609,5-661,3)	11,5	578,9±9,45***	(549,8-602,4)	9,1
Среднесуточный прирост, г	12,74±0,68	(12,51-13,03)	9,8	12,66±0,75	(12,38-12,95)	10,5	11,62±0,62	(11,29-11,91)	8,4	10,51±0,67	(10,19-10,73)	9,2
56-91 день												
Живая масса на конец учетного периода, г	1148,4±16,01	(1117-1176)	12,4	1124,7±16,43	(1097-1156)	12,7	1078,3±15,76***	(1041-1107)	12,1	975,2±15,01***	(946-1009)	10,4
Среднесуточный прирост, г	13,03±0,71	(11,83-14,12)	12,9	12,49±0,63	(11,51-13,34)	10,5	12,67±0,78	(12,32-13,01)	13,2	11,32±0,62	(11,01-11,55)	9,3
91-140 день												
Живая масса на конец учетного периода, г	1689,4±16,28	(1665-1718)	7,4	1657,3±19,12	(1629-1691)	10,4	1585,9±17,52***	(1561-1604)	8,1	1439,2±18,74***	(1400-1476)	8,9
Среднесуточный прирост, г	11,04±0,59	(10,78-11,42)	6,5	10,87±0,48	(10,62-11,19)	4,7	10,36±0,42	(10,05-10,71)	4,5	9,47±0,57	(9,09-9,73)	6,1

Продолжение таблицы 33

Показатель	Группа/Кроссы											
	1			2			3			4		
	Ломанн Браун-Классик			Браун Ник			Корал			Супер Ник		
	$\bar{x}\pm m_x$	Lim (min-max)	Cv, %	$\bar{x}\pm m_x$	Lim (min-max)	Cv, %	$\bar{x}\pm m_x$	Lim (min-max)	Cv, %	$\bar{x}\pm m_x$	Lim (min-max)	Cv, %
0-140												
Среднесуточный прирост, г	11,81±0,25	(11,43-12,16)	6,7	11,58±0,22	(11,22-11,94)		11,07±0,21*	(10,84-11,44)	5,4	10,02±0,24**	(9,78-10,29)	5,6

Примечание: разность по сравнению с группой 1 достоверна при $p\leq0,05$*; $p\leq0,01$**; $p\leq0,001$***

Это позволяет при программировании технологических процессов определять и при необходимости корректировать режимы и уровень кормления, режимы и продолжительность освещения и т.д.

В возрасте от рождения до семи дней среднесуточные приросты подопытных цыплят в общей выборке имела достаточно высокую в вариабельность и составила от 3,39 г до 5,01 г. При этом высокие среднесуточные приросты выявлены в 1 группе («Ломан Браун Классик») и разница составила по сравнению с 4 группой 13,96% ($p \leq 0,05$), по сравнению с 2 и 3 группой 2,5% и 6,0%, соответственно. Аналогичная динамика выявлена и при сравнении живой массы цыплят между группами.

Анализируя интенсивность роста молодняка в возрасте от 7 до 56 дней выявлено, что живая масса и среднесуточные приросты цыплят коричневых кроссов («Ломан Браун Классик» и «Браун Ник») внутри групп существенно не отличалась, разница составила 0,71 % и 0,63 %, а разница по живой массе и среднесуточным приростам молодняка белых кроссов («Корал» и «Супер Ник») была достаточно высокой ($p \leq 0,05$) и составила 9,7 % и 10,56 %, соответственно. Такая же тенденция по живой массе и среднесуточным приростам ремонтного молодняка отмечается и в последующие возрастные периоды от 56 дней (8недель) до 91 дня (13 недель), а также от 91 дня (13 недель) до возраста 140 дней (20 недель).

При анализе показателей живой массы молодняка в возрасте от 7 до 56 дней выявлено достоверное (($p \leq 0,05$) ($p \leq 0,01$), ($p \leq 0,001$)) превосходство коричневых кроссов над белыми, разница при этом варьировала от 8,3% до 19,6%.

В возрастные промежутки от 56 дней до 91 дня период, характеризующейся интенсивным формированием половой зрелости нами выявлена закономерная высокая разница по живой массе между коричневыми и белыми кроссами. Высокой живой массой характеризуется молодняк кросса «Ломан Браун Классик», что достоверно ($p \leq 0,001$) выше, чем у сверстниц кросса «Корал» и

«Супер Ник» (p≤0,001) на 17,8% и 6,5%, а в возрасте 140 дней (20 недель) – 17,4% и 6,5%, соответственно

Уровень интенсивности роста, а именно среднесуточный прирост живой массы цыплят коричневых кроссов («Ломан Браун Классик» и «Браун Ник») и белых кроссов («Корал» и «Супер Ник») в период от 56 дней до 91 дня выращивания внутри соответствующих генетических групп существенно не отличался и варьировал между коричневыми кроссами от 12,09 г до 13,03 г, а между белыми кроссами - от 11,32 г до 112,67 г, соответственно. Относительно высокий показатель среднесуточного прироста был у молодняка кросса «Ломан Браун-Классик», который за весь учетный период был достоверно выше (p≤0,01), чем у молодняка кроссов «Корал» и «Супер Ник», а именно в период от 56 дней до 91 дня – на 5,1% и 2,8%, в период 91-140 дней – на 6,6% и 6,5%.

Результатами исследований установлена относительно высокая интенсивность роста молодняка кросса «Браун Ник». В анализируемые периоды выращивания прирост живой массы молодняка был выше, чем у белых кроссов: в возрасте 56 дней - на 8,9 – 20,6%, в 91 день - на 1,0 – 2,1%, в возрасте 140 дней - на 4,9 – 14,8%, соответственно.

В целом оценивая уровень интенсивности формирования организма молодняка разных генетических групп в период от рождения до 140 дней следует отметить достоверное превосходство коричневых кроссов нал белыми кроссами. Молодняк кросса «Ломан Браун Классик» по среднесуточным приростам превосходил сверстниц групп «Корал» и «Супер Ник» на 6,7% (p≤0,05) и 7,9% (p≤0,01), а у кросса «Браун Ник» среднесуточные приросты были выше на 4,6% и 5,6% (p≤0,01), соответственно.

Многочисленными исследованиями установлено, что особое внимание должно быть уделено предкладковому периоду молодняка кур, поскольку данный период является «перестройкой» организма «от молодняка к взрослому продуктивному животному», соответственно, любой стрессовый фактор, в первую очередь, повлечет снижение продуктивности. Принято считать, что предкладковый период начинается в возрасте около 17 недель и заканчивается

возрастом полового созревания. Для данного периода характерны «изменения» в репродуктивной системе (готовность к образованию и выведению яиц), «изменения» в общем обмене веществ [21, 23, 116, 135]. Однородность птицы по живой массе при переводе (в возрасте 110-119 дней) в группах составила 88,3-92,5%. При этом самой низкой (88,3%) однородностью по живой массе характеризовался молодняк первой группы («Ломан Браун Классик»). Величина однородности анализируемого поголовья превышает рекомендуемые требования, который составляет не менее 80%.

Согласно принятой технологии молодняк до 110-119 дней выращивается в цехе выращивания ремонтного молодняка, а затем переводится в цех промышленного стада кур.

Сохранность поголовья в целом по всем анализируемым генетическим группам (кроссам) была относительно высокой и находилась на уровне: «Ломан Браун Классик» (1 группа) - 96,1%; «Браун Ник» (2 группа) - 96,5%; «Корал» (3 группа) - 97,3; «Супер Ник» (4 группа) - 97,4%. Высоким уровнем выбраковки также характеризовался молодняк первой группы, величина которого составила 1,5%, при этом во второй, третьей и четвертой группе она составила 0,71-0,84%.

Таким образом, результатами исследований установлено, что показатели интенсивности роста и развития молодняка яичных кроссов в анализируемых генетических группах имеют определенные различия свойственные их биологическим особенностям. Основной целью выращивания молодняка яичной птицы является получение однородного стада кур с высокими адаптационными способностями, пропорционально развитыми экстерьерно-конституциональными особенностями, высокой яичной продуктивностью, качественными параметрами яиц и приспособленных к длительному биологически обоснованному продуктивному периоду.

4.2.2 Оценка экстерьерных особенностей и формирование телосложения ремонтного молодняка и кур яичных кроссов

Активно внедряемые интенсивные технологии производства продукции животноводства предъявляет повышенные требования не только к уровню продуктивности сельскохозяйственных животных и птицы, но и их физическому и физиологическому соответствию промышленным технологиям. При разведении всех видов животных большое внимание уделяется оценке их по экстерьеру и конституциональным особенностям, так как внешний вид животного (птицы) и его внутренние свойства тесно связаны с продуктивными и репродуктивными качествами организма [17, 262].

Изучение конституции и экстерьера необходимо для специалистов и ученых с целью познания основы, на которой развиваются биологические особенности и хозяйственная продуктивность, достоинства и недостатки, заметить черты ослабления конституции, определить племенную ценность животного и выработать селекционные и технологические приемы по совершенствованию хозяйственно-биологических параметров сельскохозяйственной птицы [237, 239].

Изучение экстерьера основано на трех основных принципах:

- направление продуктивности животного и ее уровень находят свое отражение в особенностях телосложения;
- наружные формы телосложения коррелятивно связаны между собой и с развитием внутренних органов животного, особенностями обменных процессов в организме;
- особенности экстерьера являются наследственными обусловленными признаками животного.

Оценка сельскохозяйственной птицы по ее конституциональным, экстерьерным и интерьерным особенностям позволяет судить о крепости телосложения, здоровья птицы и качества получаемой продукции. Отдельные стати

тела значительно изменяются в зависимости от возраста и физиологического состояния, другие – относительно постоянны. При этом следует отметить, что одни стати тела и их величина непосредственно связаны с продуктивностью (положительно коррелируют) и состоянием здоровья, а другие свидетельствуют об адаптивных способностях птицы к условиям содержания и особенностям кормления. В связи с этим изучение конституции и экстерьера птицы разных генетических групп имеет большое практическое значение для оценки, отбора и последующей селекции. Параметров роста и экстерьерных особенностей ремонтного молодняка и кур-несушек анализируемых групп представлен в таблице 34.

В наших исследованиях методом фотографирования были проанализированы и проведены измерения статей тела подопытной птицы для определения межкроссовых, межлинейных (генетических) особенностей, возрастных и индивидуальных различий в экстерьере. Это позволило провести объективную экстерьерную оценку, а также характеристику телосложения разных групп птиц.

Анализ результатов оценки экстерьера ремонтного молодняка в возрасте 13 недель и кур-несушек родительского стада в возрасте 42 недели выявил определенные различия в телосложении птицы разных генетических групп (кроссов).

При анализе величины промеров характеризующих размер птицы, грудной клетки (корпус птицы) и грудных мышц установлено, что по глубине груди разница между подопытными группами птиц коричневых и белых кроссов (внутри групп по цвету оперения) была недостоверной и варьировала в возрасте 13 недель в пределах от 2,10 % до 3,1 %, а в возрасте 40 недель от 1,7 % до 3,7 %, соответственно.

Таблица 34– Живая масса и параметры телосложения ремонтных молодок и кур

Показатель	Группа/Кроссы											
	1			2			3			4		
	«Ломанн Браун-Классик»			«Браун Ник»			«Корал»			«Супер Ник»		
	$\bar{x}\pm m_x$	Cv, %	Lim (min-max)	$\bar{x}\pm m_x$	Cv, %	Lim (min-max)	$\bar{x}\pm m_x$	Cv, %	Lim (min-max)	$\bar{x}\pm m_x$	Cv, %	Lim (min-max)
Возраст птицы 13 недель (n=200)												
Живая масса, г	1148,4±16,01	12,4	1117-1176	1124,7±16,43	12,7	1097-1156	1078,3±15,76***	12,1	1041-1107	975,2±5,01***	10,4	(946-1009)
Прямая длина туловища, см	15,46± 0,24	8,2	14,4-17,2	15,78± 0,19	5,7	13,8-17,1	15,45± 0,13	4,5	13,4-16,5	15,27 ± 0,14	5,2	13,4-16,1
Глубина груди, см	8,61±0,13	9,1	7,5-9,6	8,32± 0,15	7,8	6,7-9,0	7,41± 0,12***	8,1	6,4-8,3	7,19± 0,13***	5,5	6,4-8,2
Ширина груди, см	5,15±0,14	9,6	4,7-6,5	5,19± 0,13	9,2	4,4-6,3	5,21± 0,09	6,0	4,6-6,2	5,23± 0,11	7,7	4,5-6,4
Длина киля, см	8,82±0,21	8,1	7,5-9,4	8,56±0,15	6,7	7,7-9,6	8,15± 0,11***	4,3	7,5-9,4	8,13± 0,14***	7,5	6,7-9,0
Ширина таза, см	6,75±0,23	10,4	5,9-7,5	7,19±0,17	10,1	6,3-8,1	7,61±0,19*	10,7	6,7-8,3	7,65±0,23*	12,2	6,5-8,4
Длина плюсны, см	6,41±0,11	6,1	5,6-7,3	6,52±0,09	5,9	5,7-7,4	6,84±0,08*	5,3	5,9-7,5	6,72±0,09*	6,8	5,8-7,5
Индекс туловища	1,011±0,003	8,1	0,927-1,105	1,019±0,002	6,7	0,934-1,107	1,021±0,001*	5,5	0,922-1,109	1,027±0,004*	6,7	0,927-1,124
Индекс типа телосложения	0,755±0,012	7,2	0,681-0,823	0,762±0,015	8,7	0,709-0,828	0,835±0,011***	7,3	0,775-0,919	0,848±0,016***	8,9	0,779-0,927

Продолжение таблицы 34

Показатель	Группа/Кроссы											
	1			2			3			4		
	«Ломанн Браун-Классик»			«Браун Ник»			«Корал»			«Супер Ник»		
	$\bar{x}\pm m_x$	Cv, %	Lim (min-max)	$\bar{x}\pm m_x$	Cv, %	Lim (min-max)	$\bar{x}\pm m_x$	Cv, %	Lim (min-max)	$\bar{x}\pm m_x$	Cv, %	Lim (min-max)
42 недели (n=192)												
Живая масса, г	2007,4± 15,11	9,3	1942,8-2075,9	1989,5± 13,31	6,1	1887,8-2078,9	1872,7± 12,34**	4,5	1746,3-1924,1	1721,1± 10,13**	3,9	1624,5-1792,9
Прямая длина туловища, см	21,96± 0,32	5,9	19,9-23,4	22,08± 0,27	4,5	20,9-23,1	21,99± 0,17	4,2	20,9-22,5	21,74± 0,22	4,9	20,8-22,5
Глубина груди, см	13,43±0,21	8,8	11,8-14,4	12,95± 0,17	7,7	11,9-14,1	11,79± 0,18***	8,1	10,5-12,8	11,59± 0,12***	5,1	10,6-12,5
Ширина груди, см	8,54±0,13	9,5	7,9-9,7	8,65± 0,15	9,9	7,7-9,4	8,61± 0,08	6,2	7,5-9,6	8,49± 0,13	7,9	7,7-8,5
Длина киля, см	10,71±0,16	7,5	9,8-11,6	10,59±0,14	6,2	9,5-11,5	10,15± 0,09**	4,9	9,3-10,8	10,16± 0,15**	7,4	9,4-11,1
Ширина таза, см	8,35±0,19	11,5	7,4-9,5	9,11±0,13**	10,8	8,4-9,9	9,19±0,17***	10,5	8,4-10,1	9,25±0,23**	12,4	8,4-10,2
Длина плюсны, см	7,73±0,13	6,8	6,9-8,6	7,95±0,08	5,3	6,8-9,0	8,21±0,07**	5,5	7,3-9,1	8,25±0,14**	6,7	7,4-9,2
Индекс туловища	1,017±0,003	8,1	0,931-1,109	1,024±0,004	6,9	0,947-1,132	1,039±0,003**	5,9	0,934-1,139	1,043±0,004***	8,7	0,953-1,145
Индекс типа телосложения	0,777±0,012	6,2	0,656-0,863	0,782±0,018	8,3	0,691-0,891	0,855±0,019**	8,2	0,756-0,963	0,851±0,022**	9,2	0,758-0,945

Примечание: разность по сравнению с группой 1 достоверна при p≤0,05*; p≤0,01**; p≤0,001***

При этом следует отметить достоверное более высокую величину промера глубина груди ($p \leq 0,001$) у ремонтного молодняка коричневых кроссов над белыми в возрасте 13 недель на 12,3 % - 19,7 %, а в возрасте 42 недели на 9,8 % - 15,9 %, соответственно. Существенных различий в группах между коричневыми кроссами и в группах между белыми кроссами по ширине и глубине груди не выявлено.

Развитие внутренних органов (пищеварительной системы и репродуктивной функции) и крепости телосложения свидетельствует величина промера ширина таза. В наших исследованиях установлена достоверно ($p \leq 0,05$) ($p \leq 0,01$) ($p \leq 0,001$) низкая величина ширины таза у молодняка и кур-несушек кросса «Ломанн Браун Классик» по сравнению со сверстницами «Браун Ник» на 6,5 % и 9,1 %, «Корал» - 12,7 % и 10,1 %, «Супер Ник» на 13,4 % и 10,8 %, соответственно.

Определенный интерес представляет анализ промеров, в значительной степени характеризующие направление и продуктивные особенности анализируемых групп подопытной птицы, такие как длина киля и длина плюсны. Длина киля – промер характеризующий развитие внутренних органов и мускулатуры (мясных качеств) в комплексе имеет определенные генетические различия. Исследованиями установлено, что в анализируемые периоды (13 недель и 42 недели) ремонтный молодняк и куры кросса «Ломанн Браун-Классик» достоверно превосходили ($p \leq 0,01$) ($p \leq 0,001$) сверстниц кросса «Корал» на 8,2 % и 5,5 %, а кросса «Супер Ник» на 8,5 % и 5,4 %, соответственно. При этом следует отметить более высокое значение длины киля анализируемого поголовья кросса «Браун Ник» по сравнению со сверстницами кроссов с белым оперением («Корал» и «Супер Ник») в возрасте 13 недель на 5,0 % и 5,4 %, а в возрасте 42 недели на 4,3 % и 4,2 %, соответственно при достоверной разнице ($p \leq 0,05$).

Общее телосложение кур яичных и мясных пород (кроссов) характеризуется величиной промера длина плюсны. Длинные и тонкие ноги характерны для

птицы яичных пород и свидетельствует в определенной степени об уровне продуктивности. У мясных кур (цыплят бройлеров) короткие и толстые, широко поставленные ноги, характеризующие мясные качества. При этом следует отметить, куры яичных пород имеют сравнительно более длинные ноги, чем мясные и мясояичные, что может быть косвенным признаком, свидетельствующим об их высокой яичной продуктивности.

Нашими исследованиями установлено, что длина плюсны у ремонтного молодняка и кур-несушек белых кроссов в определенной степени отличается по сравнению с коричневыми кроссами. Величина ног у анализируемых генетических групп птицы, а именно коричневых кроссов («Ломанн Браун Классик» и «Браун Ник») в возрасте 13 недель была достоверно ($p \leq 0,05$) ниже по сравнению со сверстницами белых кроссов на 6,7 %; 4,9% («Корал») и на 4,8 %; 3,1 % («Супер Ник»). В возрасте 42 недели сохранилась такая же тенденция и разница была достоверно ниже ($p \leq 0,01$) на 6,2 %; 3,3 % («Корал») и на 6,8 %; 3,8 % («Супер Ник»), соответственно.

Оценивая экстерьер кур и анализируя достоинства птицы, за основу брать не один или несколько признаков в отдельности, а по комплекс признаков взаимосвязанных между собой, учитывая при этом породные (генетические) особенности, направление и уровень продуктивности, крепость конституции.

Метод промеров является достаточно объективным и точным при оценке изучаемых экстерьерных показателей по сравнению с глазомерной оценкой отдельных статей, хотя и не дает такого полного представления о птице в целом, как при ее осмотре. Объективность и точность этого метода довольно относительны, так как взятие промеров связано с погрешностями и неточностями, в определенной степени зависит от субъективных факторов и технологичности используемых приборов.

На основе отдельно взятых промеров, можно индивидуально сравнивать развитие той или иной стати животного между, отдельных животных, целые генетические группы между собой.

Но отдельно взятый промер в абсолютных показателях не характеризует габитуса животного, его телосложения, так как рассматривается изолированно, вне связи с другими.

В практике животноводства и птицеводства при более детальном анализе экстерьерных особенностей используя промеры их выражают часто в процентах от какого-либо основного промера. Обработанные таким образом данные о промерах дают уже представление о пропорциях телосложения по сравнению с абсолютными показателями.

Достаточно объективное представление об экстерьере птицы можно получить, используя метод взятия промеров и последующего расчета индексов.

В наших исследованиях мы использовали рекомендации профессора В.О. Витт, который в своих исследованиях ставил задачу найти соотношения таких промеров, которые характеризовали бы определенный тип телосложения и мало меняясь с возрастом животного, могли характеризовать наследственный тип, присущий данной группе животных.

В.О. Витт считает необходимым выбирать соотношения таких промеров, которые в процессе онтогенетического развития изменялись бы параллельно, а сам индекс оставался бы относительно постоянным.

В наших исследованиях для комплексного анализа экстерьера сельскохозяйственной птицы по разработанной нами формуле были рассчитаны экстерьерные индексы (индекс туловища – ИТ и типа телосложения – ИТТ). Полученные результаты показывают, что в возрасте 13 недель ремонтный молодняк кур 1 и 2 подопытных групп (кроссы с коричневым оперением) по сравнению со сверстницами 3 и 4 групп (кроссы с белым оперением) обладают ($p \leq 0,05$) более низким

(на 4,7-12,5%), значением индекса туловища и индексом типа телосложения (на 9,3-12,6 %, $p \leq 0,01$), соответственно.

Такая же тенденция выявлена и при комплексной оценке экстерьера кур-несушек в возрасте 42 недели. Подопытные куры белых кроссов («Корал» и «Супер Ник») по сравнению со сверстницами коричневых кроссов («Ломанн Браун Классик» и «Браун Ник») имели достоверно ($p \leq 0,05$; $p \leq 0,01$; $p \leq 0,01$) более высокое значение величины индекса туловища (на 1,7-2,9 %), а по индексу типа телосложения разница также была достоверной и варьировала от 8,9 % до 10,1%, соответственно.

Таким образом, анализируемые генетические группы яичных кур, обладающие разными биологическими признаками и происхождением, имели тип телосложение свойственный птице яичных кроссов имеют определенные различия в экстерьерных особенностях, уровне яичной продуктивности и качественных параметров яиц. Им характерны удлиненное туловище, тонкая шея, выпуклая грудь, длинная ровная спина, большой объемистый живот, длинные, тонкие прочные плюсны, длинный хвост. Мышцы плотные, кожа плотная и эластичная, оперение плотное и блестящее.

4.3 Анализ и оценка яичной продуктивности, качества яиц кур разных генетических групп и продуктивного периода

Основной задачей яичного птицеводства является повышение продуктивности птицы и качества получаемой продукции для более полного удовлетворения потребностей населения в высококачественных продуктах питания [22].

Яйцо является высокоценным продуктом и в его состав входят необходимые для развития эмбриона питательные вещества: полноценные белки, содержащие незаменимые аминокислоты в оптимальном соотношении, липиды, богатые фосфором (лецитин), витамины и т. д. [132].

В условиях промышленного птицеводства наиболее важным показателем эффективности работы птицефабрики является количество производимых яиц и молодняка для обеспечения собственных нужд замены старых кур, реализации товарным птицеводческим предприятиям и населению. При ориентации производства на количественные показатели забота о пищевой и биологической ценности яиц отступает на второй план, что закономерно приводит к ухудшению их качества [22].

Анализ и оценка яичной продуктивности кур разных генетических групп (пород, кроссов, линий), изменения количества и качества полученного яйца, наблюдаемые в ходе репродуктивного периода и особенно в интенсивного, промышленного птицеводства, свидетельствуют о возможности регулирования качества яиц без нарушения свойственных им высоких питательных и биологических достоинств, которые предопределяются такими признаками, как масса и форма яйца, масса желтка, белка, скорлупы, удельный вес структурных элементов и т. д. В связи с этим проблема сохранения и регулирования
полноценности яиц кур и повышения их качества приобретает все большее значение.

Следовательно, теоретической основой в решении задач по повышению биологической эффективности использования кур родительского стада и экономической эффективности предприятия является изучение закономерностей изменений качества яиц в ходе яйцекладки и выявление взаимосвязей между морфологическими и физико-химическими показателями яиц [128].

4.3.1 Яичная продуктивность кур разного продуктивного периода

При анализе и оценке яичной продуктивности кур родительского разных генетических групп (кроссов) в наших исследованиях была поставлена цель по

изучению уровня реализации генетически заложенного продуктивного потенциала кур яичных кроссов «Ломанн Браун Классик», «Браун Ник», «Корал», «Супер Ник».

Отечественные и зарубежные ученые на основе своих исследований отмечают: «Формирование яйца, степень оплодотворённой и начальное развитие, протекающие в яйцеводе несушек связано с физиологическим состоянием несушек, которое, в свою очередь, зависит от многочисленных факторов. Одним из таких факторов является возраст птицы, оказывающий влияние как на качество яиц, так и на эмбриональное и постэмбриональное развитие потомства и последующую продуктивность взрослой птицы. Знание возрастных изменений продуктивности кур как качественных, так и количественных, особо важно для отрасли птицеводства при решении вопроса о целесообразности использования в производстве и селекции сельскохозяйственной птицы разного возраста и биологических особенностей» [31, 85, 95].

Проведенные нами совместные исследования с Ананиковым Я.Г. (2024), показали, что: «На уровень яичной продуктивности кур промышленного стада, в том числе формирование количественных и качественных характеристик яичной продуктивности кур-несушек, процесс формирования яйца, объем и качество уже сформированного яйца оказывают влияние достаточно большое количество стресс-факторов. Выявлена прямая (положительная коррелятивная) связь между объёмом производства яиц от несушки и массой яиц, кроме этого, оба показателя предопределены не только генотипом (кроссом), но и возрастными особенностями птицы. Следовательно, повышение биологического потенциала птицы возможно при взаимодействии факториального сочетания: генотип — полноценное кормление, соответствующее физиологическому возрасту птицы и возрастным особенностям – оптимальный режим содержание. Существенная вариативность уровня яичной продуктивности морфометрических показателей пищевого яйца,

выявленная у птицы с разным генотипом и возрастными характеристиками в единой среде выращивания и содержания, свидетельствуют о целесообразности исследования и выявления лимитирующих значений количества и качества яиц для дальнейшей разработки селекционных программ «усиления» продуктивности без изменения высоких пищевых и биологических качеств яиц» [45, 48, 90].

Васильева Л.Т., Бычаев А.Г. (2023) результатами собственных исследований установили, что: «… значимые успехи в области селекции и кормления птицы не только максимально повысили яйценоскость птицы, но и значительно увеличили длительность ее продуктивной эксплуатации в условиях птицеводческих предприятий. Появление современных яичных кроссов с продолжительным сроком использования, с одной стороны, приводит к снижению затрат кормов и электроэнергии, получению более крупных яиц и т. д., а с другой – к изменениям в организме птицы и качестве яиц. Резкое увеличение яйценоскости и массы яиц, безусловно, сказалось на их качестве, определяемом не только кормлением и условиями содержания, но и, прежде всего, физиологией птицы, ее возрастом. Поэтому изучение качества яиц при продолжительном использовании птицы и определение влияния ее возраста является актуальной задачей и имеет практическое значение в установлении оптимальных сроков ее эксплуатации в условиях каждого хозяйства и оптимизации кормления кур для получения качественной яичной продукции» [45].

В соответствии с задачами исследований была проведена оценка яичной продуктивности кур в возрастные периоды 21-25 недель, 25-42 и 42-80-недель (таблица 35).

Анализ возрастной динамики яичной продуктивности подопытного поголовья показал, что за весь учетный период (в возрасте от 21 до 80 недель) живая масса подопытных кроссов птицы находилась в пределах допустимых значений, рекомендованных производителями кроссов.

Таблица 35 –Возрастная динамика яичной продуктивности кур-несушек родительского стада

Показатель	Группа/Кроссы											
	1			2			3			4		
	«Ломанн Браун Классик»			«Браун Ник»			«Корал»			«Супер Ник»		
	$\bar{x}\pm m_x$	Cv, %	Lim (min-max)	$\bar{x}\pm m_x$	Cv, %	Lim (min-max)	$\bar{x}\pm m_x$	Cv, %	Lim (min-max)	$\bar{x}\pm m_x$	Cv, %	Lim (min-max)
продуктивный период 21-25 недель (35 дней)												
n	200			200			200			200		
Живая масса на конец учетного периода, г	1781,7± 7,9	7,3	1702,1-1859,7	1763,5± 6,8	6,4	1692,7-1834,2	1689,1± 6,5*	5,6	1602,4-1758,7	1504,2± 7,2***	6,7	1465,2-1589,4
Яйценоскость на среднюю несушку, шт	30,1± 4,2	8,9	25-34	30,6± 3,3	9,4	26-35	31,5± 3,1	9,2	23-35	29,4± 2,5	8,7	25-34
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	4,2	57,9-62,1	60,4± 0,41*	4,9	57,5-62,4	52,6± 0,52***	6,4	49,7-54,5	53,9± 0,49***	6,1	50,2-55,1
Яичная масса, кг	1,84± 0,09	5,5	1,45-2,11	1,85± 0,07	5,2	1,49-2,18	1,51± 0,08*	5,3	1,24-1,71	1,58± 0,07*	4,9	1,26-1,87
25 - 42 недели (119 дней)												
n	197			197			197			197		
Живая масса на конец учетного периода, г	2012,8± 11,4	9,3	1968,3-2094,5	1989,3± 10,1	8,9	1912,7-2065,8	1891,2± 8,9**	6,7	1814,5-1957,2	1729,3± 9,2***	7,8	1631,4-1801,9
Яйценоскость на среднюю несушку, шт	112,4± 3,5	5,4	108-117	113,5± 3,2	4,8	109-118	114,4± 3,3	5,2	110-116	112,8± 3,9	5,7	107-116

Продолжение таблицы 35

Показатель	Группа/Кроссы											
	1			2			3			4		
	«Ломанн Браун Классик»			«Браун Ник»			«Корал»			«Супер Ник»		
	$\bar{x}\pm m_x$	Cv, %	Lim (min-max)	$\bar{x}\pm m_x$	Cv, %	Lim (min-max)	$\bar{x}\pm m_x$	Cv, %	Lim (min-max)	$\bar{x}\pm m_x$	Cv, %	Lim (min-max)
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	4,5	61,5-65,1	62,9± 0,32	4,1	61,4-64,2	61,3± 0,43**	5,9	59,1-62,9	61,5± 0,41**	5,5	59,3-63,1
Яичная масса, кг	7,16± 0,26	7,5	6,64-7,62	7,14± 0,19	3,9	6,69-7,58	7,01± 0,21	5,4	6,51-7,31	6,94± 0,23	6,2	6,35-7,32
42-80 недель (266 дней)												
n	194			195			193			189		
Живая масса на конец учетного периода, г	2076,5± 13,9	9,7	1998,1-2151,9	2065,7± 18,1	11,9	1979,8-2148,2	1949,4± 12,5***	9,1	1867,2-2005,3	1799,2± 15,1***	10,4	1713,5-1873,7
Яйценоскость на среднюю несушку, шт	218,1± 5,4	6,3	214-223	219,7± 4,5	5,9	216-224	225,6± 4,2	5,1	222-228	214,4± 5,8	6,5	210-219
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	6,3	65,9-68,1	66,3± 0,25	5,8	65,4-67,6	65,1± 0,35*	7,3	63,8-66,2	64,9± 0,27**	6,1	63,7-66,2
Яичная масса, кг	15,55± 0,34	5,7	14,11-15,19	14,57± 0,35	5,9	14,13-15,14	14,69± 0,37	6,5	14,16-15,09	13,91± 0,44*	7,4	13,38-14,51

Окончание таблицы 35

Показатель	Группа/Кроссы											
	1			2			3			4		
	«Ломанн Браун Классик»			«Браун Ник»			«Корал»			«Супер Ник»		
	$\bar{x}\pm m_x$	Cv, %	Lim (min-max)	$\bar{x}\pm m_x$	Cv, %	Lim (min-max)	$\bar{x}\pm m_x$	Cv, %	Lim (min-max)	$\bar{x}\pm m_x$	Cv, %	Lim (min-max)
За весь учетный период (420 дней)												
n	192			184			192			180		
Яйценоскость на среднюю несушку, шт	360,6± 9,1	9,6	347-374	363,8± 7,4	9,7	353-377	368,5± 6,9	8,2	355-379	356,6± 9,4*	10,1	342-369
Яйценоскость на начальную несушку, шт	346,2± 7,4	9,1	333-359	334,7± 8,7	10,4	325-347	353,8± 8,3	9,5	341-364	320,9± 9,4*	10,9	308-332
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	6,5	61,7-65,1	63,2± 0,24	6,9	61,4-64,7	59,7± 0,31*	7,5	57,5-61,2	60,1± 0,35*	8,3	57,7-61,5
Яичная масса, кг	23,01± 0,32	5,8	21,41-24,35	22,99± 0,38	6,2	21,67-24,39	22,02± 0,44	6,8	20,41-23,19	21,43± 0,48*	7,5	19,73-22,69

Примечание: разность по сравнению с группой 1 достоверна при $p\leq0,05$*; $p\leq0,01$**; $p\leq0,001$***

При этом 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».

Анализ уровня яичной продуктивности на среднюю несушку за весь учетный период показал, что относительно высокой яйценоскостью отличались куры кросса «Корал», что соответствует рекомендуемым требованиям «разработчика» и даже несколько превосходит.

В возрастной динамике яйценоскость на среднюю несушку кур данного кросса «Корал» превосходила сверстниц: кур кросса «Супер Ник» – от 2,1 штук яиц в возрастной период 21-25 недель до 11,2 штук яиц в возрасте 42-80 недель, кур кросса «Браун Ник» – от 0,9 штук яиц до 5,9 штук яиц, кросса «Ломанн Браун Классик» –1,4 штук яиц до 7,5 штук яиц. Следует отметить, что на протяжении продуктивного (учетного) периода яйценоскость кур разных генетических групп (кроссов) имела определенную вариабельность. Куры кроссов «Браун Ник», «Корал» и «Супер Ник» отличались относительно стабильной яичной продуктивность в первые два периода (от 21 до 25 недель и от 25 до 42 недель) и снижением к третьему продуктивному периоду.

Характер интенсивности яйценоскости по кроссам (генетическим группам) кур за учетный период показал, что куры кроссов «Ломанн Браун Классик», «Браун Ник» и «Корал» в динамике возрастного периода имели более высокий, стабильный показатель, чем отмечено в рекомендациях разработчика. За первый возрастной период (21-25 недель) превосходство фактической интенсивности от

нормативной по кроссам составило 4,5 % (кросс «Корал»), а в третий репродуктивный период по трем кроссам («Ломанн Браун Классик», «Браун Ник» и «Корал») превосходство по интенсивности яйценоскости от нормативных требований варьировало от 0,3 % до 0,9%. Интенсивность кросса кур «Супер Ник» в возрастной динамике отличалась более низкими фактическими показателями в сравнении с нормативными требованиями и в третий период составила 85,3 %, что ниже нормативных требований на 2,8%.

Яичная продуктивность кур-несушек характеризуется не только количеством снесенных яиц, но общей яичной массой, полученной за продуктивный период. Анализируя среднюю массу яйца кур анализируемых кроссов, следует отметить, что к третьему возрастному периоду (42-80 недель) масса яйца по генетическим группам увеличилась от 5,6 г до 12,8 г. Относительно высокой массой яйца за учетный период отличались куры кросса «Ломанн Браун Классик»: по первому периоду масса яйца была достоверно выше ($p \leq 0,001$) массы кур кросса «Корал» – на 8,5 г и достоверно выше ($p \leq 0,001$) массы кур кросса «Супер Ник» – на 7,2 г. Во второй возрастной период также отмечена такая тенденция – достоверно ($p \leq 0,01$) выше массы яйца кур кросса «Корал» – на 2,4 г и кросса «Супер Ник» (при $p \leq 0,01$) – на 2,2 г. По третьему возрастному периоду – достоверно ($p \leq 0,01$) выше массы яйца кур кросса «Корал» – на 1,3 г и кур кросса «Супер Ник» – на 1,8 г при $p \leq 0,01$. Соответственно, за учетный период (420дней) от кур кросса «Ломанн Браун Классик» получено максимально больше яичной массы (23,01 кг), что выше чем от сверстниц кросса «Браун Ник» на 0,1 %, «Корал» - 4,3 % и «Супер Ник» - 6,9 % ($p \leq 0,05$), соответственно.

Таким образом, за весь учетный период (420 дней) максимальную яичную продуктивность на среднюю несушку имели куры кросса «Корал» – 368,5 штук и куры кросса «Браун Ник» – 363,8 штука, что выше, чем яйценоскость кур кросса

«Супер Ник» – на 11,9 и 7,2 штук яиц, соответственно. Яйценоскость на начальную несушку закономерно была выше также у данных кроссов кур, соответственно, 353,8 штуки и 334,7 штук, что достоверно ($p \leq 0,05$) выше, чем у кур кросса «Супер Ник» – на 32,9 и 25,3 штуки яиц. Сравнительно высокая интенсивность яйценоскости отмечена у кур кроссов «Ломанн Браун Классик» – 85,9%, что выше, чем нормативный показатель – на 2,4%, «Браун Ник» - 86,6 % (на 2,3 %) и кур кросса «Корал» – 87,7%, что выше, чем рекомендуемый – на 5,4%. Следовательно, результаты наши исследований свидетельствуют о генетической обусловленности показателей, характеризующих уровень яичной продуктивности кур-несушек и проявления адаптационных способностей разных кроссов.

4.3.2 Физико-морфологические параметры яиц кур-несушек

Результатами многолетней селекционной работы в яичном птицеводстве было достигнуто не только увеличение массы яйца, но и изменения в соотношении составных его частей, а также морфометрических и морфо-физических параметров, что в свою очередь оказывает влияние на пищевые и инкубационные качества яичной продукции сельскохозяйственной птицы. Морфометрические и качественные показатели яйца зависят от множества факторов: генетических особенностей птицы (вида, породы, линии, кросса), возраста, условий содержания и кормления.

В наших исследованиях был проведены сравнительный анализ морфометрических показателей яиц кур, характеризующих их морфологический и качественный состав в зависимости от их генотипа, периода яйцекладки и уровня продуктивности.

Селекционно-генетические параметры качества инкубационных яиц, полученных от кур родительского стада в возрасте 42 недели представлены в таблице 36.

Отечественные и зарубежные ученые основываясь на результаты своих исследований утверждают, что: «Масса снесенного яйца более чем наполовину обусловлена генетикой и в меньшей степени формируется под действием алиментарных и иных факторов. Масса яйца является одной из значимых физических показателей пищевой и товарной ценности, определяющий продуктивность птицы, а также значимый показатель при инкубации яиц. Между живой массой и массой яиц кур имеется положительная коррелятивная связь. Повышение живой массы яичных кур на каждые 100 г приводит к увеличению массы яиц примерно на 0,5-0,8 г. Однако следует учитывать, что чрезмерная упитанность кур не способствует повышению массы яиц» [67, 71, 91, 94, 95, 209, 211, 238].

Результатами наших исследований установлена максимально высокая величина массы яйца у кур несушек кроссов «Ломанн Браун Классик» (62,8 г), что достоверно выше на 5,2 %, ($p \leq 0,001$), чем у сверстниц кросса «Корал» и на 3,5% ($p \leq 0,01$) по сравнению с курами кросса «Супер Ник». При этом следует отметить, что между группами коричневых кроссов («Ломанн Браун Классик» и «Браун Ник») разница по массе яиц была не существенной и составила 1,4%.

Форма яиц является важным показателем качества. К форме яиц предъявляют высокие требования. Это связано с тем, что стандартные яйца лучше сохраняются при транспортировке и от стандартных инкубационных яиц получают цыплят с оптимальной живой массой. В наших исследованиях индекс формы яйца определяли по разработанной формуле, анализируемый показатель характеризовался величиной площади поперечного и продольного сечения, а также угла острого конца яиц. Чем выше показатель индекса формы яиц, тем яйца более округлые, а чем ниже, тем яйца более вытянутые и удлинённые.

Полученные результаты показывают, что индекс формы яиц варьировал: от 0,699 до 0,805 («Ломанн Браун Классик»); от 0,694 до 0,809 («Браун Ник»); от

0,691 до 0,822 («Корал») и от 0,697 до 0,803 («Супер Ник»). Выявлена генетическая обусловленность величины индекса формы яиц. Величина индекса формы яиц у кур несушек кросса (коричневого цвета оперения) «Ломанн Браун Классик» и «Браун Ник» была достоверно выше, чем у (кроссов белого цвета оперения) «Корал» на 0,11п.п. и 0,10п.п., и выше чем «Супер Ник» на 0,07п.п. и 0,05п.п., соответственно. При этом разница между группами была достоверной при $p \leq 0,05$; $p \leq 0,01$.

Кроме генетической предрасположенности индекс формы яйца, в наших исследованиях, оказал существенное влияние на такие показатели, как площадь поверхности яйца и объем яйца. Так, яйца кур кросса «Ломанн Браун Классик» отличались максимальным показателем индекса формы яйца, что определяет их форму как «округлое», соответственно, яйца имеют достоверно высокую величину большого диаметра яйца на 10,2 % ($p \leq 0,001$) по сравнению с яйцами кур кросса «Корал» и 6,6 % ($p \leq 0,01$) с яйцами кур кросса «Супер Ник» при незначительной разнице (1,6%) с группой Браун Ник. Аналогичная закономерность отмечена и по показателю малый диаметр яйца, то есть достоверно больше, чем значение показателя яиц кур кросса «Корал» на 8,9 % ($p \leq 0,001$), на 4,2 % ($p \leq 0,05$), чем у яиц кросса кур «Супер Ник» и на 2,1 % чем с группой «Браун Ник», соответственно при недостоверной разнице.

Значение показателя – угол острого конца имел определенные отличия. Так, наибольшая величина угла острого конца яиц отмечен у кур кроссов «Ломанн Браун Классик» ($98,5^0$) и «Браун Ник» ($97,8^0$), что достоверно ($p \leq 0,01$) выше чем у сверстниц кросса «Корал» на 2,4% и 1,7 % ($p \leq 0,05$), по сравнению с группой «Супер Ник» разница составила 2,1% ($p \leq 0,05$) и 1,3%, соответственно.

Таким образом, показатели, характеризующие форму яйца, могут быть использованы не только для характеристики кроссов кур по их качественным пара-

метрам яиц, но и при отборе инкубационных яиц и расчетах, связанных с оптимизацией движения яиц по технологической линии. Многочисленными исследованиями установлено: «При подготовке к инкубации необходима тщательная оценка яиц по целому ряду морфологических признаков. Наиболее важные контролируемые показатели — это масса, индекс формы яйца, толщина и масса скорлупы, индексы белка и желтка. Качество яиц, степень соответствия стандарту и предъявляемым требованиям, определяется совокупностью признаков и рядом показателей. Оценка качества яиц является первым необходимым шагом для успешного проведения инкубации, что подтверждают работы многих авторов. Оценка морфологических качеств яиц не сводится только к внешнему осмотру. Вскрытие яиц даёт возможность более объективно судить о качестве белка, желтка и скорлупы» [92, 131, 294, 295]. Яйцо сельскохозяйственной птицы состоит из трех составных частей: белок (56-62%), желток (28-32%) и скорлупа (10-12%) и примерное их соотношении составляет 6:3:1. Структурные компонента яиц имеют различное пищевое и биологическое значение, а их соотношение определяет успех инкубации, производство товарной продукции и глубокую переработку.

Результаты анализа морфо-физических показателей яиц кур разных кроссов представлены в таблице 37.

Анализируя величину относительной массы составных частей яиц у кур подопытных генетических групп (кроссов) в возрасте 42 недели установлено определенная наследственная изменчивость оцениваемого показателя. Относительная масса белка варьировала от 58,2 % («Корал») до 58,8 % («Супер Ник»), относительная масса желтка от 27,3% («Ломан Браун Классик») до 28,6 % («Корал»), относительная масса скорлупы от 13,2 % («Корал») до 14,1 % («Ломан Браун Классик»).

Таблица 36 – 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»		
	$\bar{x}\pm m_x$	Cv, %	Lim (min-max)	$\bar{x}\pm m_x$	Cv, %	Lim (min-max)	$\bar{x}\pm m_x$	Cv, %	Lim (min-max)	$\bar{x}\pm m_x$	Cv, %	Lim (min-max)
Масса яйца, г	62,8±0,24	4,6	58,6-64,7	61,9±0,21	4,2	59,3-63,1	59,7±0,32***	5,1	57,4-63,2	60,7±0,39**	5,7	58,2-63,5
Большой диаметр яйца, см	6,5±0,03	4,1	5,8-7,2	6,4±0,02*	3,9	5,9-7,0	5,9±0,03***	4,7	5,3-6,5	6,1±0,04**	4,9	5,4-7,2
Малый диаметр яйца, см	4,9±0,03	3,4	4,2-5,5	4,8±0,02*	3,1	4,1-5,4	4,5±0,03***	3,5	3,7-5,2	4,7±0,04*	3,9	3,8-5,3
Угол острого конца яйца, ^{0}	98,5±0,41	3,7	91,4-105,3	97,8±0,45	4,1	89,7-104,1	96,2±0,56**	5,1	86,4-100,3	96,5±0,51*	4,7	88,4-103,5
Индекс формы яиц	0,763± 0,002	2,9	0,699-0,805	0,761±0,003	3,1	0,694-0,809	0,752± 0,003**	3,2	0,691-0,822	0,756± 0,002*	2,8	0,697-0,803
Площадь поверхности яйца, $см^2$	85,3±0,42	5,3	78,7-92,1	84,7±0,53	6,1	78,5-91,4	78,7±0,67**	6,5	72,4-87,5	79,8±0,71*	7,3	73,2-87,4
Объем яйца, $см^3$	99,4±0,87	6,5	92,75-108,7	98,2±0,91	7,9	89,7-108,5	93,5±0,99**	8,3	87,7-102,1	94,9±1,12*	10,1	86,2-103,4

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

Таблица 37 – Морфо-физические показатели 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»		
	$\bar{x}\pm m_x$	Cv, %	Lim (min-max)	$\bar{x}\pm m_x$	Cv, %	Lim (min-max)	$\bar{x}\pm m_x$	Cv, %	Lim (min-max)	$\bar{x}\pm m_x$	Cv, %	Lim (min-max)
Масса скорлупы, г	8,9±0,13	5,0	8,1-9,5	8,3±0,15**	6,3	7,5-8,9	7,9±0,16***	7,9	6,8-8,7	8,3±0,18*	8,4	7,4-9,1
Относительная масса скорлупы, %	14,1±0,18	5,2	13,5-14,7	13,5±0,21*	6,1	12,6-14,1	13,2±0,24*	7,1	12,5-14,1	13,7±0,26	8,3	13,1-14,5
Средний показатель толщины скорлупы, мм	0,449 ± 0,005	5,5	0,439-0,458	0,453±0,004	4,8	0,445-0,467	0,428± 0,006**	6,3	0,419-0,441	0,397± 0,007***	6,8	0,386-0,409
Масса белка, г	36,6± 0,34	7,2	35,3-37,6	36,1±0,39	7,7	35,4-36,9	34,8±0,35**	7,4	33,6-36,1	35,7± 0,37*	8,1	34,5-36,7
Относительная масса белка, %	58,6±0,41	8,1	57,8-59,4	58,5±0,45	8,4	57,7-59,4	58,2±0,41	8,3	57,4-59,1	58,8± 0,39	6,9	57,9-60,1
Высота плотного белка, мм	8,5±0,16	9,3	7,8-9,2	8,7±0,13	8,2	8,4-9,4	9,4±0,15***	9,0	8,8-10,0	9,5± 0,17***	9,8	9,0-10,4
Высота жидкого белка, мм	4,9±0,09	11,2	4,2-5,5	4,9±0,07	10,7	4,3-5,4	4,7±0,11	11,4	4,1-5,4	4,6±0,14	13,2	3,8-5,6)
Диаметр белка большой, мм	82,4± 0,61	7,1	77,4-86,7	82,7±0,58	6,7	77,3-87,0	81,3± 0,54	6,2	74,2-85,9	81,4± 0,69	8,1	73,7-85,0
Диаметр белка малый, мм	76,3± 0,46	5,6	73,8-79,2	76,8±0,35	4,7	72,5-80,3	75,9±0,39	5,5	71,5-79,1	75,4±0,41	4,9	72,2-78,4
Индекс белка, %	10,7±0,11	8,7	9,2-11,8	10,9±0,09	7,3	9,4-12,0	12,0±0,09***	7,8	11,3-13,6	12,1±0,13***	9,8	11,0-13,4
Объем жидкого белка, $см^3$	35,9± 0,74	17,5	23,6-45,9	35,7±0,87	19,2	19,4-47,3	35,0±0,73	15,8	18,8-47,1	34,5±0,97	21,3	20,2-47,8

Продолжение таблицы 37

Показатель	Группа/Кроссы											
	1			2			3			4		
	«Ломанн Браун Классик»			«Браун Ник»			«Корал»			«Супер Ник»		
	$\bar{x}\pm m_x$	Cv, %	Lim (min-max)	$\bar{x}\pm m_x$	Cv, %	Lim (min-max)	$\bar{x}\pm m_x$	Cv, %	Lim (min-max)	$\bar{x}\pm m_x$	Cv, %	Lim (min-max)
Масса желтка, г	16,9±0,14	5,9	16,2-18,0	17,3±0,15	6,8	16,4-17,9	17,1±0,16	6,9	16,3-18,1	16,6±0,17	7,1	15,5-17,4
Относительная масса желтка, %	27,3±0,18	7,1	25,9-28,1	28,0±0,21*	7,9	27,2-29,1	28,6±0,17**	5,9	27,4-29,5	27,5±0,19	7,4	26,7-28,8
Высота желтка, мм	19,8±0,21	9,3	18,4-20,4	19,7±0,21	7,7	19,3-21,3	20,4±0,15*	6,3	19,4-21,4	20,2±0,13*	5,8	19,3-21,0
Диаметр желтка, мм	40,3±0,33	7,3	38,2-41,7	40,4±0,31	7,0	38,5-41,6	42,5±0,41**	8,9	38,7-46,6	42,3±0,45*	9,4	37,8-46,1
Индекс желтка, %	49,1±0,34	8,9	47,1-49,5	48,8±0,37	9,1	47,4-49,7	47,1±0,28**	7,5	46,8-49,1	47,8±0,31*	8,1	46,0-49,8

Примечание: разность по сравнению с группой 1 достоверна при $p\leq0,05$*; $p\leq0,01$**; $p\leq0,001$***

Белок, как структурная единица яиц играет важную роль при инкубации и влияет на качество суточных цыплят. Он служит источником воды и некоторых питательных веществ для эмбриона в период его развития. Такие показатели, как высота плотного белка и высота жидкого белка яиц – это параметры, определяющие биологическую полноценность белка [209, 211, 212].

Морфометрические параметры структурных элементов белка в наших исследованиях имеют определенную закономерную взаимозависимость. При максимальной высоте плотного слоя белка яиц кур кросса «Супер Ник» (9,5 мм) и «Корал» (9,4 мм) выявлено, что достоверно выше ($P < 0,001$) чем у кур коричневых кроссов на 11,8% и 10,6% («Ломанн Браун Классик»), и на 9,2% и 8,0% («Браун Ник»). Установлена относительно низкая величина большого диаметра белка и малого диаметра белка у кур кроссов «Супер Ник» (81,4 мм и 75,4 мм) и «Корал» (81,3 мм и 75,9 мм). Нашими исследованиями выявлено, что помимо высотных параметров желтка и белка яиц, на величину общего объема белка определенное влияние оказывает и форма яйца. При этом следует отметить, что индекс белка у кур белых кроссов составил 12,0% («Корал») и 12,1% («Супер Ник») и был достоверно ($p \leq 0,001$) выше, чем у сверстниц коричневых кроссов на 1,3 п.п.; 1,1 п.п. и 1,4 п.п.; 1,2 п.п., соответственно.

Изучая качество куриных яиц путем анализа морфологических признаков и их изменения в процессе эволюции Царенко П.П. (1988, 2009) выявил: «Желток занимает сердцевину яйца и покрыт гибкой оболочкой (вителлиновой мембраной) толщиной не более 0,05 мм. В желтке содержатся основные питательные вещества, которые используются в питании эмбриона в период его развития. Желток имеет слегка продолговатую форму, вытянутую в сторону полюсов яйца, и немного сжат у зародышевого диска. Он состоит из чередующихся 5-6 слоев желтого и светлого цвета с общим центром. В центре желтка находится более светлая латебра, соединенная с помощью шейки с бластодиском. Латебра легче,

чем желтые слои, и поэтому желток всегда ориентирован бластодиском вверх» [201, 202].

Качество желтка предопределяется его физическими параметрами, то есть величиной высоты и диаметра. В наших исследованиях установлено, что качественные параметры желтка имеют определенную зависимость от генетической основы анализируемых кроссов яичных кур. Яйцо, полученное от кур кроссов «Корал» и «Супер Ник», достоверно ($p \leq 0,05$) превосходило кур кросса «Ломанн Браун Классик» по высоте желтка на 3,1 % и 2,0 %, а по диаметру желтка на 5,5% ($p \leq 0,01$) и 4,9 % ($p \leq 0,05$), соответственно. Такая же тенденция сохраняется и при сравнении параметров желтка яиц, полученных от кур кросса «Браун Ник» и разница составила по высоте желтка 3,6% и 2,5%, а по диаметру желтка 5,2% и 4,7%, соответственно. Закономерно величина индекса желтка яиц, полученных от кур белых кроссов достоверно ниже яиц, полученных от кур коричневых кроссов и составил 47,1% («Корал») ($p \leq 0,01$) и 47,8% («Супер Ник») ($p \leq 0,05$). При этом следует отметить, что при сравнении величины параметров яиц кур коричневых и белых кроссов внутри генетических групп достоверных различий не выявлено и разница варьировала от 0,3% (кроссы с коричневым оперением) до 0,7% (кроссы с белым оперением).

Скорлупа яиц по своей биологической значимости выполняет роль защиты содержимого яйца от механических повреждений и является труднопреодолимым барьером для проникновения микроорганизмов снаружи и испарения воды изнутри яйца, что защищает эмбрион от внешних факторов воздействия. Толщина скорлупы куриных яиц составляет в среднем 360-370 мкм [201, 202, 207]**.**

Анализируя степень влияния кроссовой принадлежности на качественные параметры скорлупы установлено, что по сравнению с яйцом кур кросса «Ломанн Браун Классик» достоверно ($p \leq 0,01$, $p \leq 0,001$) более низкое значение (на 4,9% и 13,2%) показателя средней толщины скорлупы характерно для яиц кур кроссов

«Корал» (0,428 мм) и «Супер Ник» (0,397 мм). Анализируемый показатель яиц кур кроссов «Ломанн Браун Классик» и «Браун Ник» варьировал от 0,449 мм до 0,453 мм, что характеризует скорлупу яиц кур данных кроссов как достаточно крепкую для обеспечения физической защиты и целостности содержимого яиц, а также бактериологического барьера от воздействия внешних факторов.

В целом анализируя вариабельность морфо-физических параметров яиц кур разных генетических групп следует отметить, что наиболее высокой изменчивостью отличались высота желтка 9,3% («Ломанн Браун Классик»), диаметр желтка 9,4% («Супер Ник»), высота плотного белка 9,8 % («Супер Ник») и диаметр желтка 9,4% («Супер Ник»), а также индекс белка (9,8 %, 8,7 %, 7,8% и 7,3%) и индекс желтка 9,4% и 8,9%, 7,3%, и 7,0%, соответственно. Относительно низкая изменчивость отмечается по величинам индекса формы яйца (3,2%, 3,1%. 2,9% и 2,8%) и малого диаметра яйца 3,9%, 3,5%, 3,4% и 3,1 %, соответственно.

Таким образом, изучение и анализ закономерностей генетической изменчивости, оценка качества яиц и выявление взаимосвязей между морфометрическими, морфологическими и физико-химическими показателями яиц кур разных генотипов позволит контролировать технологические условия, разрабатывать программ кормления, режимов содержания кур-несушек, инкубации яиц и оперативно устранять причины, повлиявшие на изменение данных свойств и повышать эффективность ведения птицеводства.

В области отечественного и зарубежного птицеводства селекционеры (ученные и специалисты) совершили существенный прорыв в направлении повышения скороспелости мясной и яичной птицы, уровня продуктивности и продолжительности продуктивного, репродуктивного и племенного использования яичной птицы. Как отмечают в своих исследованиях О.И. Станишевская и Е.С. Торицына (2006): «Это привело к тому, что современные кроссы сельскохозяй-

ственной птицы существенно отличаются от своих предшественников по интенсивности роста, развития и продуктивности» [177]. Необходимость дальнейшего повышения эффективности промышленного птицеводства в условиях жесткой конкуренции обязывает специалистов искать дополнительные резервы улучшения показателей воспроизводства птицы и создания условий для полной реализации ее генетического потенциала [33, 195].

В последние годы селекционная работа в птицеводстве была направлена на увеличение массы яиц, что привело к нарушению баланса между составляющими яйца, а также на увеличение конверсии корма, вследствие чего снизилась пищевая ценность яиц и изменилась среда развития эмбриона. Результатами исследований многих ученных установлено, что выводимость куриных яиц зависит от ряда эпигенетических факторов. В этом плане важным является прогнозирование максимальной эффективности процесса воспроизводства до закладки яиц в инкубатор. Это дает возможность инкубационные некачественные яйца использовать для других целей и экономить трудовые, энергетические ресурсы и повышать эффективности отрасли птицеводства [26, 33, 67, 125].

При подготовке к инкубации необходима тщательная оценка яиц по целому ряду морфологических признаков. Наиболее важные контролируемые показатели — это масса, индекс формы яйца, толщина и масса скорлупы, индексы белка и желтка. Качество яиц, степень соответствия стандарту и предъявляемым требованиям, определяется совокупностью признаков и рядом показателей. Оценка качества яиц является первым необходимым шагом для успешного проведения инкубации, что подтверждают работы и результаты исследований отечественных и зарубежных исследователей [100, 124, 286]. Оценка морфологических качеств яиц не сводится только к внешнему осмотру. Вскрытие яиц даёт возможность более объективно судить о качестве белка, желтка и скорлупы [124, 295].

Следовательно, актуальными являются исследования морфометрических и биофизических показателей куриных яиц и связь их с формой.

В наших исследованиях определенный интерес представляло изучение и анализ степени влияния величины индекса формы яиц на их морфометрические параметры и морфологический состав.

Важным показателем качества является форма яиц, которая влияет на сохранность скорлупы и имеет товарное значение и очень важно при оценке инкубационных характеристик, так как стандартные яйца более устойчивы к бою при отборе, сортировке и транспортировке.

Форма яиц в определенной степени предопределяет инкубационные качества (выводимость, вывод цыплят), качество суточных цыплят и в последующем их рост, развитие и продуктивность. В связи с этим на птицеводческих предприятиях к форме яиц предъявляют высокие требования.

В наших исследованиях представлял определенный интерес изучение динамики морфометрических показателей куриных яиц анализируемых генетических групп (таблица 38). По результатам проведенных расчетов все исследуемое яйцо 120 штук (по 30 штук от каждого кросса) было распределено на 3 группы в зависимости от величины индекса формы: 1 группа – 0,695-0,734; 2 группа – 0,735-0,774; 3 группа – 0,775-0,815. При этом крайние варианты (менее 0,695 - 3 шт. и более 0,815 - 5 шт.) были исключены из анализа, так как не могли существенно повлиять на конечный результат.

С учетом разработанной формулы закономерным является то, что форма яиц предопределяется величиной внешних параметров.

Таблица 38 - 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)		
	$\bar{x} \pm \Delta\bar{x}$	Lim (min-max)	Cv, %	$\bar{x} \pm \Delta\bar{x}$	Lim (min-max)	Cv, %	$\bar{x} \pm \Delta\bar{x}$	Lim (min-max)	Cv, %
Индекс формы яйца	0,724±0,002	0,699-0,733	2,4	0,755±0,001	0,736-0,769	2,2	0,784±0,003	0,771-0,809	2,3
Масса яйца, г	59,5±0,73	53,6-67,5	6,0	58,3±0,43	48,7-67,7	7,1	57,4±0,46*	50,5-67,8	5,8
Большой диаметр, см	6,4±0,05	6,0-6,9	3,7	6,2±0,03*	5,7-7,0	4,3	6,0±0,04**	5,6-6,9	4,2
Малый диаметр, см	4,7±0,04	4,4-5,1	3,7	4,7±0,02	4,4-5,2	3,9	4,7±0,03	4,4-5,5	3,9
Площадь поверхности, $см^2$	86,6± 0,73	76,5-99,7	7,2	85,0±0,70	72,3-105,1	8,0	83,4±0,94*	70,9-112,7	8,2
Объем яйца, $см^3$	74,1± 1,10	61,6-91,5	10,9	72,5±0,90	56,8-99,1	12,0	70,8±1,02*	55,3-111,0	10,1
Площадь продольного сечения, $см^2$	23,6± 0,35	20,8-27,2	7,2	23,0±0,19	19,5-28,6	8,1	22,4±0,25*	19,1-30,1	8,2
Площадь поперечного сечения, $см^2$	17,3±0,26	15,4-20,0	7,4	17,5±0,14	15,0-21,2	7,8	17,6±0,20	14,9-24,1	8,1
Угол острого конца, ^{o}	98,1±0,45	89-109	4,7	95,6±0,51**	85,0-109,0	5,2	95,1±0,53**	88,0-104,0	4,1
Масса скорлупы, г	8,1±0,08	7,2-8,7	5,0	8,0±0,06	6,7-9,3	4,5	7,8±0,07*	7,0-9,3	6,2
Масса желтка, г	16,2±0,23	14,5-18,9	6,9	16,4±0,12	12,9-19,5	7,2	16,1±0,14	14,1-18,3	6,2
Масса белка, г	35,2±0,36	28,9-43,1	9,4	34,3±0,35	25,3-42,4	8,2	33,5±0,43*	27,3-42,1	9,3
Высота желтка, мм	20,0±0,21	18,3-21,4	5,2	20,1±0,17	16,5-23,3	8,0	19,8±0,22	16,0-23,3	8,3
Высота плотного белка, мм	9,3±0,08	6,3-11,4	10,2	9,2±0,12	6,3-12,3	14,8	8,8±0,11*	5,2-11,3	14,4
Высота жидкого белка, мм	4,7± 0,23	2,2-6,4	25,1	4,9±0,11	2,2-6,4	21,9	4,0±0,15*	2,2-8,2	21,7
Диаметр желтка, мм	41,3±0.51	36,0-45,0	6,0	41,7±0,31	38,0-52,0	7,2	41,2±0,39	38,0-55,0	6,9
Малый диаметр белка, мм	76,0±0,99	70,0-85,0	6,4	75,6±0,68	55,0-90,0	8,7	75,8±0,82	65,0-90,0	7,8
Большой диаметр белка, мм	81,9±1,1	75,0-90,0	6,5	81,2±0,71	56,0-105,0	8,5	82,0±0,85	70,0-95,0	7,5
Объем жидкого белка, $см^3$	35,8± 0,13	21,0-45,0	11,3	35,1±0,24*	18,8-53,0	18,4	34,2±0,17***	17,4-48,0	14,3
Средний показатель толщины скорлупы, мм	0,411± 0,01	0,352-0,474	6,5	0,425±0,003**	0,360-0,477	7,0	0,429±0,004***	0,363-0,477	6,1

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

Яйца имеющие более округлую форму (1 группа) по сравнению с 3 группой имели достоверно высокую величину большого диаметра (на 6,7 %, P <0,01), площади поверхности (на 3,8 %, P <0,05), объема яйца (на 4,7 %, P <0,05), площади продольного сечения (на 5,4 %, P <0,05) и угла острого конца (на 3,2 %, P <0,05), при незначительной разнице по величине малого диаметра и площади поперечного сечения.

Соответственно, анализируемые показатели, характеризующие форму яйца, используются не только для характеристик кроссов кур, но и при расчетах, связанных с оптимизацией движения яиц по технологической линии.

Масса снесенного яйца более чем наполовину обусловлена генетикой и в меньшей степени формируется под действием алиментарных и иных факторов. Масса яйца является одной из значимых физических показателей пищевой и товарной ценности, определяющий продуктивность птицы, а также значимый показатель при инкубации яиц.

Результатами наших исследований установлена максимально высокая величина массы выявлена у яиц с наименьшей величиной индекса формы (1 группа) (59,5 г), что достоверно (P <0,05) выше на 3,7 %, чем в 3 группе (57,4 г), которое характеризуется максимально вытянутой формой, при незначительной разнице со второй группой (58,3 г).

Независимо от кроссовой принадлежности, массы, формы и т.д. яйцо состоит из трех составных частей: белок, желток и скорлупа. Данные компоненты имеют различное пищевое и биологическое значение, а их соотношение определяет успех инкубации, производство товарной продукции и результаты глубокой переработки.

При изучении весовых характеристик составных частей куриных яиц, имеющих разную форму, выявлены различия по анализируемым показателям. Исследованиями установлено, что яйца, имеющие более округленную форму (1 группа)

по сравнению с относительно вытянутой формы (3 группа) имели достоверно (P <0,05) более высокую величину массы скорлупы (на 3,8 %) и массы белка (на 5,1%) при незначительной разнице по массе желтка.

Относительные массы составных частей куриных яиц разной формы составили: скорлупа – 13,6 %, 13,7 % и 13,6 % соответственно по группам; желток – 27,2 %, 28,1 % и 28,2 % соответственно по группам: общий белок – 59,2 %, 58,8 % и 58,4 % соответственно по группам. Следует обратить внимание на тот факт, что при увеличении величины индекса формы абсолютная масса скорлупы достоверно снижалась, но ее относительное содержание в яйце практически не изменилось. При этом отмечена тенденция к увеличению относительной массы желтка на 1,0 п.п. и снижению относительной массы белка на 0,8 п.п. Эти данные указывают на то, что по мере увеличения массы яиц и приобретение ими более округлой формы снижается относительное содержание желтка и увеличивается содержание белка, что и отражается на их соотношении. Отношение белка к желтку уменьшается и составило по группам 2,17, 2,09 и 2,08, соответственно.

Качество яиц определяется не только абсолютной и относительной величиной его составляющих, но и их линейными параметрами. Качество скорлупы определяется ее толщиной, относительной массой и предопределяет плотность яйца. Толщина скорлупы в основном определяет ее прочность и, следовательно, сопротивление механическому разрушению. Высокий показатель толщины скорлупы отмечен у яиц, имеющих более вытянутую форму (2 и 3 группа) по отношению к яйцам с более округленной формой (1 группа). Разница при этом составила 3,4 % (P <0,01) и 4,4 % (P <0,001), соответственно.

На качественные показатели яиц (пищевые и инкубационные) в определенной степени влияют индекс белка (желтка), которые определяются как отношение их среднего диаметра к высоте. Сравнивая яйцо разной формы выявлено, что по величине высоты и среднего диаметра желтка разница была недостоверна и

варьировала между группами от 0,2% до 1,5%. При этом величина индекса желтка имела незначительные различия и составила 48,4%, 48,2% и 48,1%, соответственно по группам.

Индекс белка, в определенной степени оказывающий влияние на инкубационные качества яиц имел существенные различия между группами в зависимости от формы яйца. Анализ линейных характеристик белка выявил, что при незначительной разнице между группами по величине малого и большого диаметра плотного белка высота белка была достоверно ($P < 0,05$) выше у яиц имеющих более округленную форму (1 и 2 группа) на 5,7% и 4,5%, соответственно по сравнению с яйцом, имеющим более вытянутую форму (3 группа). При этом индекс белка составил 11,8%, 11,7% и 11,2, соответственно по группам.

Характеристика яичного белка оценивается не только качественными параметрами плотной фракции белка, но и качеством жидкого белка. Такие показатели, как высота плотного белка и высота жидкого белка яиц – это параметры, определяющие биологическую полноценность белка. Нашими исследованиями установлено, что по высоте жидкого белка анализируемых яиц достоверных различий не выявлено и разница между группами варьировала от 2,1% до 4,3%. При этом следует отметить достоверное превосходство ($P < 0,05$) яиц, имеющих более округленную форму (1 и 2 группа) по объему жидкого белка на 4,7% и 2,6%, соответственно, в сравнении с яйцом, имеющим более вытянутую форму (3 группа).

Таким образом, изучение закономерностей изменения качества и выявление взаимосвязей между морфометрическими, морфологическими и физико-химическими показателями яиц кур позволит контролировать технологические условия и оперативно устранять причины, повлиявшие на изменение данных свойств. На уровень морфологических и физико-химических показателей влияет

форма и масса яиц. Следовательно, по форме и массе яйца можно судить о относительной и абсолютной величине основных составных частей куриного яйца: скорлупа, белок и желток, которые характеризуют его пищевую ценность и инкубационные качества. Учитывая выявленные биологические закономерности формирования морфо-физических параметров и внедрение их в технологический процесс позволит повысить точность и объективность оценки и сортировки инкубационных яиц.

В настоящее время имеет большое практическое значение и является актуальным изучение динамики морфологических показателей в течении репродуктивного периода, характеризующих качественный состав пищевых и инкубационных яиц.

Romanyk H.M. (2020), Бессарабов Б. Ф. (2005) в своих исследованиях отметили, что «…комплексное изучение качества яиц является одним из основных путей повышения продуктивности и эффективности отрасли птицеводства. Изучение параметров качества яйца и их изменения, наблюдаемые в ходе репродуктивного периода, свидетельствуют о возможности регулирования этих показателей без нарушения свойственных им высоких питательных достоинств. Пищевая ценность оценивается по массе и форма яйца, массе желтка, белка, и скорлупы, а также соотношению составных частей яйца. Поэтому проблема сохранения и регулирования полноценности яиц кур и повышения их качества приобретает все большее значение. Теоретической основой в решении данной проблемы является изучение закономерностей изменений качества яиц в ходе яйцекладки и выявление взаимосвязей между морфологическими и физико-химическими показателями яиц» [177, 305].

Влияние возраста родительского стада на качество инкубационных яиц (оплодотворенность, толщина скорлупы, пористость), результаты и продолжительность инкубации подтверждают и зарубежные исследователи [151, 181, 113].

K. Tona, F. Bamelis, W. Coucke и др. указывают, что масса яиц увеличивается с возрастом родителей (55 г в 27 недель, по сравнению с 70 г 60 недель [170]), в то время как оплодотворенность уменьшается с возрастом родителей из-за низкой эффективности канальцев хранения спермы у старых петухов [271].

Бурдашкина В.Ф. (2012) на основе своих исследований и обзорного анализа результатов отечественных и зарубежных ученных отмечает, что: «… с возрастом кур-несушек масса яиц увеличивалась на 1,1 - 4,4%. Масса желтка повышалась более интенсивно на 3,5 - 8,9%, а масса белка – 3,0-4,8% [33], показатель единицы ХАУ значительно уменьшается в пределах соответствуя норме, что свидетельствует о снижении инкубационных качеств яйца. Доля желтка и белка повышается, а доля скорлупы уменьшается – эти изменения ведут к снижению прочности скорлупы, а в производственных условиях – к увеличению боя и насечки, снижению технологических и инкубационных качеств [33, 147]. Количество влаги в яйце с возрастом несушек уменьшается, и это ведет к более низкой растворимости питательных веществ в белке яйца и его усвояемости, то есть снижаются конечные результаты инкубации [33].

Для оценки морфологических показателей яиц в возрастной динамике от кур каждой генетической группы (кросса) было отобрано по 10 штук яиц в каждый возрастной период, имеющие среднее значение по массе (таблица 39).

Анализируя полученные нами результаты выявлено, что все оцениваемые параметры увеличились в возрастной динамике кур (по возрастным периодам). При этом следует отметить, что в большей степени (достоверно $p \leq 0,05$; $p \leq 0,01$; $p \leq 0,001$) изменились объем яйца (на 10,7 % в 42 недели и на 19,5% - 80 недель), площадь продольного сечения (на 10,2 % и 20,0%), большой диаметр (на 8,6 % и 15,5%), площадь поверхности яйца (на 7,7 % и 13,4 %), длина большей окружности (на 4,9 % и 9,0 %).

Таблица 39 - Динамика морфологических показателей яиц кур разного периода яйцекладки (n=40)

Показатели	Группа								
	1			2			3		
	Период яйцекладки								
	25 недель			42 недели			80 недель		
	$\bar{x}\pm m_x$	Cv, %	Lim (min-max)	$\bar{x}\pm m_x$	Cv, %	Lim (min-max)	$\bar{x}\pm m_x$	Cv, %	Lim (min-max)
Большой диаметр, см	5,8±0,02	3,3	5,3-6,2	6,3±0,04***	5,3	53-7,1	6,7±0,06***	5,9	6,2-7,5
Малый диаметр, см	4,7±0,02	2,8	4,4-5,2	4,8±0,03*	4,7	4,1-5,2	4,9±0,04*	6,1	4,0-5,4
Длина большей окружности, см	16,7±0,06	2,8	15,7-17,6	17,5±0,11***	4,7	14,9-18,9	18,2±0,17***	6,9	16,5-19,9
Длина меньшей окружности, см	14,8±0,05	2,8	13,9-15,7	15,1±0,09	4,7	12,8-15,9	15,9±0,12	7,5	14,8-17,2
Площадь продольного сечения, $см^2$	21,5±0,16	5,6	19,2-24,2	23,7±0,27***	8,9	16,9-26,8	25,8±0,27***	9,7	23,4-27,3
Площадь поперечного сечения, $см^2$	17,4±0,12	5,5	15,4-19,6	17,8±0,21	9,1	13,1-20,2	18,3±0,32	10,1	16,7-20,1
Площадь поверхности, $см^2$	80,7±0,57	5,6	72,4-91,6	86,9±0,98***	8,7	62,9-97,3	91,5±0,91***	8,3	85,9-97,2
Объем, $см^3$	67,6±0,72	8,2	56,6-80,7	74,8±1,22***	12,6	46,1-87,6	80,8±1,25***	13,5	69,8-89,5

Продолжение таблицы 39

Показатели	Группа								
	1			2			3		
	Период яйцекладки								
	25 недель			42 недели			80 недель		
Угол острого конца, град.	96,7±0,64	5,1	86,3-110,9	96,6±0,75	6,4	82,5-110,3	97,4±0,87	7,9	86,5-109,3
Индекс формы яйца	0,802±0,003	2,4	0,755-0,857	0,751±0,004***	4,3	0,684-0,844	0,735±0,005***	5,7	0,651-0,725
Масса яйца, г	53,2±0,38	5,6	46,1-59,1	59,1±0,24***	6,3	49,9-66,4	66,1±0,45***	5,8	61,5-71,6
Масса скорлупы, г	7,1±0,08	9,1	5,6-8,7	7,9±0,09**	9,4	6,3-9,6	8,5±0,11**	9,9	7,3-9,2
Масса желтка, г	13,7±0,12	7,2	11,5-16,1	16,9±0,19***	8,9	14,4-20,6	18,7±0,21***	9,7	17,4-19,9
Масса белка, г	32,4±0,35	8,5	24,9-38,2	34,3±0,38**	8,8	26,3-41,1	38,9±0,53**	9,5	36,6-40,8
Высота белка, мм	11,6±0,08	7,1	9,3-13,1	9,3±0,11***	9,6	7,9-10,5	9,1±0,13***	10,1	7,6-10,2
Высота желтка, мм	20,9±0,08	2,9	18,3-21,5	20,7±0,11	3,8	19,6-21,3	20,4±0,13	4,5	19,9-20,7
Диаметр желтка, мм	37,1±0,25	5,2	35,1-40,2	41,2±0,21***	4,1	38,1-45,2	43,1±0,24***	5,3	42,4-44,2
Большой диаметр белка, мм	70,2±0,63	7,1	63,2-80,3	79,3±0,82***	9,1	69,1-90,2	82,1±0,98***	10,1	68,4-91,5
Малый диаметр белка, мм	62,1±0,62	7,8	54,1-70,3	70,4±0,64***	7,6	59,1-81,1	73,7±0,76***	8,2	62,4-83,8
Толщина скорлупы, мм	0,403±0,003	5,4	0,365-0,447	0,412±0,001*	2,5	0,382-0,433	0,419±0,004*	6,7	0,387-0,439

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

Незначительно изменились малый диаметр (на 2,1% и 4,2 %), длина меньшей окружности (на 2,0 % и 7,4 %), площадь поперечного сечения (на 2,3 % и 5,2 %), при относительно постоянной величине угла острого конца яиц и индекса формы яйца. Следует отметить, что наиболее высокой вариабельностью в репродуктивный период 42 недели (период биологически, характеризующейся стабильной и относительно низкой изменчивостью показателей яичной продуктивности) отличалась величина площади поверхности яйца (8,7%), объем яйца (12,6%), площадь поперечного сечения (9,1%), площадь продольного сечения (8,9%) и площадь поверхности яйца (8,7%).

Форма яиц является важным показателем качества. К форме яиц предъявляют высокие требования. Это связано с тем, что стандартные яйца лучше сохраняются при транспортировке и от стандартных инкубационных яиц получают цыплят с оптимальной живой массой. Чем выше показатель индекса формы яиц, тем яйца менее округлые, а чем ниже, тем яйца более вытянутые и удлинённые при относительно постоянной средней величине угла острого конца яиц. Полученные результаты показывают, что индекс формы яиц варьировал от 0,755 до 0,857 на 25 неделе продуктивного возраста, а на 42неделе от 0,684 до 0,844 единиц и от 0,651 до 0,725 единиц в возрасте 80 недель. При этом с увеличением массы яиц к возрасту 80 недель величина индекса формы достоверно ($P < 0,001$) снизилась на 8,4%.

Обеспечение высокого качества яиц и яичных продуктов является одной из основных задач в промышленном птицеводстве. Прочность скорлупы, высота белка, высота, цвет и качество желтка являются важными показателями качества как инкубационных, так и пищевых яиц. В ходе научных исследований был проведен сравнительный анализ морфологических и физических показателей, после разбивания свежих яиц, полученных от кур в разный период яйцекладки. Морфо-

логические показатели яиц, по которым проводили их оценку под влиянием различных факторов, подвержены значительной изменчивости и отличаются наибольшей вариабельностью. При производстве яиц большое значение имеет не только количество полученных яиц за определенный период, но и их качество.

Масса яйца является одной из значимых физический показатель пищевой и товарной ценности, определяющий продуктивность птицы, а также учитывающийся при инкубации яиц. На 25-й неделе яйцекладки масса яйца составила в среднем 53,2 г, а на 42-й неделе - 59,1 г, а на 80-й соответственно 66,1 г. При этом, за период исследований масса яиц достоверно (P <0,001) возросла на 24,2%. Масса яйца биологически связана со всеми тремя основными компонентами: скорлупой, белком и желтком. Увеличение массы яиц обусловлено изменением абсолютной массы составляющих его компонентов. Масса белка в анализируемый репродуктивный период увеличилась на 20,1% (P <0,001), желтка – на 36,5 %(P <0,001), скорлупы на19,7 % (P <0,001). Следует, отметить, что при увеличении абсолютной массы белка его относительное содержание в яйце снизилось с 60,09 % на 25-йнеделе яйцекладки кур до 58,9% на 80-й неделе. При этом относительная масса желтка за этот период возросла с 25,8% до 28,3%, а относительная масса скорлупы соответственно с 13,3 % до 13,9 %.

При определении высоты и диаметра белка и желтка выявлено, что увеличение их абсолютной массы в разные репродуктивные периоды способствовало изменению величины этих параметров. Высота белка снизилась на 21,6 % (P <0,001), диаметр желтка, большой и малый диаметр белка достоверно (P <0,001) увеличились соответственно на 36,5 %, 17,0 % и 18,7 % при незначительном изменении высоты желтка.

Качество скорлупы определяется ее толщиной, абсолютной и относительной массой. Толщина скорлупы в основном определяет ее прочность и, следова-

тельно, сопротивление механическому разрушению. Высокий показатель толщины скорлупы (на 4,0 %, P <0,05) и ее процентное содержание (12,9%) имели яйца кур в конце репродуктивного периода (80 недель) по отношению к яйцам, полученным от кур несушек на 25 неделе яйцекладки. За учетный период толщина скорлупы повысилась с 0,403 мм до 0,419 мм.

Полученные корреляционные связи показывают, что между основными физико-морфологическими параметрами яиц существует тесная связь не зависимо от продуктивного периода. Анализ величины коэффициента корреляции между анализируемыми показателями свидетельствует, что между массой яйца и показателями, характеризующими внешние параметры, а также массой и величиной структурных составляющих яйца выявлена положительная и в некоторых случаях довольно сильная связь, которая варьировала от 0,17 (толщина скорлупы) до 0,82 (масса белка). При этом следует отметить отрицательную связь в следующих величинах: «масса яйца – высота белка» - 0,48; «масса яйца – индекс формы яйца» - 0,57. Определенный интерес представляет величина положительной корреляционной связи между углом острого конца яйца и площадью поперечного сечения (0,33), а также площадью продольного сечения (0,23).

Таким образом, физические размеры яиц и пропорции морфологических признаков, а также их абсолютная и относительная величина обусловлены наследственностью, степень реализации которой зависит от паратипических факторов. Выявленная корреляционная связь дает основание полагать, что основные анализируемые параметры в большей степени обусловлены абсолютной и относительной величиной массы желтка и белка. Это позволит разработать алгоритм определения массы белка и желтка, не нарушая целостности скорлупы.

4.4 Результаты инкубации и анализ качества суточных цыплят

Прогресс птицеводства и те достижения, которые обеспечили прочное становление одного из ведущих отраслей, во многом зависят от разработки новых решений в области оценки качества и отбора яиц для инкубации. В промышленных птицеводческих предприятиях норма вывода молодняка сельскохозяйственной птицы стала не менее: яичных кур — 85%, мясных кур — 80, уток — 80, гусей и индеек — 75%. При анализе результатов инкубации яиц сельскохозяйственной птицы на птицефабриках видно, что некоторые хозяйства имеют данные по выводимости яиц и вывода молодняка на уровне 70–75%. В связи с этим повышение показателей инкубации является существенным резервом в производстве яиц и мяса птицы. Постэмбриональный отход вследствие низкой жизнеспособности выведенного молодняка составляет примерно 8,5% от общего падежа птицы. Низкие показатели сохранности после вывода являются следствием инкубации некачественного яйца и нарушения режима инкубирования. Для получения полноценных инкубационных яиц, от которых в первую очередь зависят показатели инкубации, нужно обеспечить оптимальные условия кормления и содержания птицы родительского стада [21].

Vasileva A. V. (2018), Kolanczyk M. (2010) отмечают, что «…размер яиц зависит от множества факторов: возраста несушек, живой массы кур, генетических факторов, систем кормления и содержания, здоровье несушек и внешних факторов. В статье Kolanczyk M. (2010) определена оптимальная масса инкубационных яиц, которая равна 50-70 г. В свою очередь по данным этих авторов опережающий рост белка существенно повлиял на отношение белок/желток. Масса яйца и соотношение белка, желтка, скорлупы, одинаково важны как для инкубации, так и производства товарной продукции» [232, 286].

На основе изучения литературных (научных) источников отечественных и зарубежных ученных подготовлена краткая справочная информация о результатах инкубации. «Выводимость увеличивается с 88% у молодых родителей (27 недель) до максимума 96% (40-42 недели), затем снижается до 73% у старых родителей (59-61 неделя) [252, 304]. Отмеченная низая выводимость яиц, полученных от старых родителей, отчасти увеличивает общую эмбриональную смертность [274, 300, 304] Максимальную выводимость (около 96%) получают от яиц средних размеров (50-60 г) [252, 322]. Выводимость уменьшается от более тяжелых яиц, например, выводимость снижается на 5,9% от яиц с массой 60-65 г и около 13,5% от яиц с массой более чем 70 г [285]. M. Raju и др. [279] сообщают, что существует положительная корреляция между массой яйца и массой цыпленка по всем возрастам. Возраст родительского стада влияет на массу яйца и, следовательно, влияет на массу цыпленка [255]. Согласно H.R. Wilson [322] масса цыплят составляет 62-76% от первоначальной массы яйца. Он пришел к выводу, что изменение на 1 г (положительное или отрицательное) в массе яйца приводит к результату, соответствующему, изменению на 2-13 г в массе цыпленка к 8-недельному возрасту. Крупные яйца не только были связаны с продолжительным временем инкубации, но также с увеличенной нормой отбраковки (процент низкого качества цыплят, не выживающих при выращивании). Цыплята от мелких яиц быстрее вылупляются [272, 274, 288, 322]. S. Vieira и др. [274] обнаружили, что яйца от молодых родителей (27 недель) выводятся раньше, чем яйца от старых родителей (59 недель). Эти расхождения могут быть из-за использования разных инкубационных методов (одноступенчатая или многоступенчатая программа инкубации) или различные инкубационные настройки (температура, влажность или вентиляция).

Воспроизводство сельскохозяйственной птицы во многом зависит от ее эмбриональной жизнеспособности; основным показателем данного критерия служит выводимость яиц. На этот показатель, наряду с генетическими аспектами, оказывают существенное влияние температурно-влажностные и световые режимы содержания птицы, уровень и тип кормления, режимы инкубации, а также возраст птицы и ее живая масса. При этом установлено, что доля влияния генотипа на выводимость яиц составляет лишь 15%, тогда как доля влияния внешних факторов — 85%, поэтому поиск оптимальных решений для повышения результатов инкубации яиц является актуальным и имеет практическое значение [35].

Для оценки пригодности яиц к инкубации отобрано яйцо, полученное от коричневых кроссов кур: «Ломанн Браун Классик», «Браун Ник» и белых кроссов кур «Корал» «Супер Ник». Инкубационные яйца имели правильную форму, чистую гладкую скорлупу. Воздушная камера при овоскопировании находилась в тупом конце яйца, высоты воздушной камеры при применении шаблона-измерителя составляет 1,5 - 4 мм. Желток в яйце занимает центральное положение. При вращении яйца желток малоподвижен, границы его нечеткие. Среди допустимых для инкубационных яиц дефектов скорлупы отмечены: мраморность, пояс, небольшие известковые отложения.

Сведения о выводимости яиц, выводе и качестве цыплят являются наиболее важными ориентирами для оптимизации управления технологическими процессами получения инкубационных яиц и режимами инкубации. Специалистам важно знать и проводить анализ результатов инкубации с целью выявления факторов, предопределяющих результаты технологического процесса.

В связи с этим нами было изучены результаты инкубации и качество суточных цыплят (таблица 40).

Яйца в количестве 1620 шт. (масса яиц 55-70 грамм), полученные от кур коричневых и белых кроссов были отобраны для инкубации. После предварительной подготовки и получения изображений путем фотографирования, яйца были пронумерованы и заложены в инкубационные шкафы и проинкубированы по общепринятым режимам. За 3 дня до вывода яйца были переложены в выводные лотки и размещены в выводных шкафах.

Полученные результаты показывают, что индекс формы яиц варьировал от 0,689 до 0,814 (коэффициент вариации 2,9-4,1%). Максимально высокая величина массы яйца (62,4 г) и индекса формы (0,764) отмечена у кур кросса «Ломанн Браун Классик», что выше чем у кур кроссов «Корал» и «Супер Ник» на 5,4 %, 2,8% ($p \leq 0,01$) и 1,2%, 0,8%, соответственно. При этом масса яиц варьировала от 56,5 г до 69,1 г (от 7,1% до 8,1%).

Анализ полученных результатов свидетельствует о достаточно высоком уровне оплодотворенности яиц кроссов «Ломанн Браун Классик» (93,5%), «Браун Ник» (94,2%), «Корал» (94,7%), «Супер Ник». (94,5%) и выводимости яиц 89,1%, 90,5%, 92,4% и 92,5%, соответственно.

В результате инкубации получено 1393 голова, при этом процент вывод цыплят в среднем составил 85,4%, в том числе: «Ломан Браун Классик» – 83,4% (338 гол); «Браун Ник» - 85,3% (345 гол); «Корал» - 87,6% (355 гол); «Супер Ник» – 87,7% (355 гол).

При этом следует отметить высокий уровень инкубационных качеств яиц полученных от кур белых кроссов при незначительной разнице уровня оплодотворенности по сравнению с коричневыми кроссами.

Таблица 40 – Результаты инкубации яиц кур разных генетических групп и качество суточных цыплят

Показатель	Группа/Кроссы											
	1			2			3			4		
	«Ломанн Браун Классик»			«Браун Ник»			«Корал»			«Супер Ник»		
	$\bar{x}\pm mx$	Cv, %	Lim (min-max)	$\bar{x}\pm mx$	Cv, %	Lim (min-max)	$\bar{x}\pm mx$	Cv, %	Lim (min-max)	$\bar{x}\pm mx$	Cv, %	Lim (min-max)
Заложено в инкубатор, шт	405			405			405			405		
Средняя масса яйца, г	62,4± 0,43	7,6	57,5-69,1	62,1± 0,39	7,1	55,8-68,3	59,2± 0,55**	7,8	55,1-67,2	60,7± 0,64**	8,1	56,5-67,7
Индекс формы яиц	0,764±0,004	3,7	0,697-0,815	0,758±0,005	3,9	0,695-0,807	0,755±0,004	4,1	0,682-0,814	0,758±0,003	2,9	0,689-0,797
Неоплодотворенные яйца, шт/%	26/6,5			23/5,8			21/5,3			17/4,6		
Оплодотворенность, %	93,5			94,2			94,7			95,4		
Замершие, шт/%	7/1,8			5/1,2			6/1,4			5/1,3		
Задохлики, шт/%	34/8,3			31/7,7			23/5,7			26/6,4		
Вывод цыплят, гол/%: в т.ч. курочек, гол.	338/83,4 170			345/85,3 174			345/87,6 179			355/87,7 180		
Выводимость яиц, %	89,1			90,5			92,4			92,5		
Живая масса суточных цыплят (курочек), г:	36,5± 0,13	3,8	33,2-38,1	36,2± 0,15	4,5	33,4-40,2	35,3± 0,21*	4,9	32,4-39,2	35,6± 0,16*	4,7	32,1-40,2

Примечание: разность по сравнению с группой 1 достоверна при $p\leq0,05$*; $p\leq0,01$**; $p\leq0,001$***

Живая масса анализируемых суточных цыплят в группах в зависимости от генетического происхождения имела определенную вариабельность. В первой и во второй группе (коричневые кроссы «Ломанн Браун Классик» и «Браун Ник») живая масса варьировала от 33,2 г до 38,1 г и от 33,4 г до 40,2 г, при коэффициенте вариации 3,8 % и 4,5 %, соответственно. В третьей и четвертой группе (белые кроссы «Корал» и «Супер Ник») - от 32,4 г до 39,2 г и от 32,1 г до 40,2 г с величиной коэффициента вариации 4,9% и 4,7%, соответственно. Учитывая высокую корреляционную связь между массой яиц и массой суточных цыплят выявлена закономерно достоверно низкая живая масса суточных цыплят, полученных от яиц белых кроссов. Масса суточных цыплят первой («Ломан Браун Классик») и второй («Браун Ник») группы была достоверно ($p \leq 0,01$) выше чем в третьей («Корал») на 3,4%; 2,5% и четвертой группе («Супер Ник») на 2,6 % и 1,7 %, соответственно.

Таким образом, знания биологических закономерностей и генетической основы эмбрионального развития цыплят яичных кроссов, качественные параметры результатов инкубации и жизнеспособности цыплят, роста и развития птицы являются необходимой основой повышения продуктивности яичных кур.

4.5 Анализ параметров морфометрических и биофизических показателей инкубационных яиц и связь их с выводимостью

Современные яичные кроссы кур обладают высокой яйценоскостью и при снесении ими большого числа яиц и многолетнее применение стабилизирующего отбора по количеству яиц и яичной массе привели к изменению параметров содержимого яиц. При этом опережающий рост белка существенно повлиял на отношение белок/желток. Масса яйца и соотношение белка, желтка, скорлупы, одинаково важны как для инкубации, так и для производства товарной продукции [24, 67, 68].

Отечественные и зарубежные ученные установили, что: «высокая результативность инкубации возможна только при объективной оценке, отбору и использовании качественных яиц. От качества инкубационных яиц зависит уровень вывода молодняка, жизнеспособность и продуктивность птицы. Оценка качества яиц является первым необходимым шагом для успешного проведения инкубации» [33, 67, 68, 69, 70].

Основной задачей при инкубации яиц является повышение выводимости, которая тесно связана с эмбриональной жизнеспособностью птицы. Ряд авторов отмечают, что: «при нормальном физиологическом состоянии продуктивной птицы, хорошем уходе выводимость достигает высокого уровня. Выводимость куриных яиц зависит от ряда эпигенетических факторов. При этом очень важно прогнозирование максимальной эффективности процесса воспроизводства до закладки яиц в инкубатор, что дает возможность инкубационные некачественные яйца использовать для других целей и повышать эффективность птицеводства» [50, 68].

Качество инкубационных яиц является одним из основных факторов, который, наряду с режимами инкубирования их, определяет результаты инкубации, жизнеспособность выведенного молодняка, его дальнейшую продуктивность и, в конечном итоге, определяет рентабельность работы всей птицефабрики.

Исследования морфометрических и биофизических показателей куриных яиц, связь их с выводимостью и качеством полученного молодняка являются актуальной задачей и имеют большое практическое значение.

На первом этапе научных исследований (на базе ООО "Племптицесовхоз "Увинский" Увинского района Удмуртской Республики) нами был произведен отбор яиц для инкубации путем внешнего осмотра, исследования на оплодотво-

ренность яиц с использованием овоскопа, а также определяли массу. По результатам взвешивания для инкубации были отобраны 2 партии яиц: 1 - массой 45 - 54 г (1 группа); 2 – 55 - 70 г (2,3,4 группа) (таблица 41).

По результатам проведённых расчетов все исследуемое яйцо, имеющее оптимальную массу (55-70 г) по пригодности к инкубации было распределено на 3 группы в зависимости от величины индекса формы: 2 группа – 0,695-0,730; 3 группа – 0,731-0,765; 4 группа – 0,766-0,800. Далее яйца закладывали в инкубационные шкафы.

На втором этапе научных исследований (на базе ООО "Племптицесовхоз "Увинский" Увинского района Удмуртской Республики) провели анализ результатов инкубации, определили пол и качество суточных цыплят. Массу молодняка определяли путем взвешивания (таблица 42).

На третьем этапе исследований (ООО «Сарапульская птицефабрика», город Сарапул, Удмуртская Республика) провели сравнительный анализ роста и развития ремонтного молодняка, экстерьерных особенностей, яичной продуктивности кур-несушек разных групп и оценку морфометрических параметров яиц (таблица 43,44).

Массу молодняка определяли путем взвешивания на электронных весах с точностью до 0,1 г. Взвешивание подопытного поголовья (птицу в контрольных клетках) проводили еженедельно. По результатам взвешивания определяли среднесуточный прирост.

На основе исходных данных проведен расчет селекционно-генетических параметров показателей экстерьера кур, яичной продуктивности и морфометрических параметров яиц в исследуемых группах. Между всеми показателями оценки экстерьера, типа телосложения и яичной продуктивности кур была определена взаимосвязь путем расчета коэффициента корреляции по Спирмену.

Научными исследованиями отечественных ученных установлено: «Морфометрические параметры яиц в определенной степени оказывают влияние на вывод и выводимость цыплят, их качество, жизнеспособность и последующую продуктивность кур-несушек. Появление новых кроссов и линий, селекция птицы по продуктивности приводит к появлению яиц с несколько измененными морфо-физическими параметрами, что требует изучения, анализа и оценки их пищевых и инкубационных качеств» [178, 179, 199].

Форма яиц в значительной степени влияет на положение эмбриона в процессе его развития. По мнению П.П. Царенко (2009): «Форма яиц меньше определяется породной принадлежностью, и больше возрастом и индивидуальными особенностями. К форме яиц предъявляют высокие требования» [68].

Отечественные и зарубежные ученные и специалисты птицеводческих предприятий анализируя качества инкубационных яиц, выявили криволинейную зависимость между массой яиц и результатами инкубации. При этом установили, что: «…из мелких (45-47г) и слишком крупных (более 70 г) яиц вывод и выводимость была значительно ниже, чем из средних яиц. Масса яиц в условиях современных технологий инкубирования имеет достаточно высокую связь с жизнеспособностью молодняка (r=+0,54) и с его массой при выводе» [214, 215, 254].

Результатами наших исследований (таблица 41) установлена максимально высокая величина массы яйца с наименьшей величиной индекса формы (2 группа) (62,9 г), что достоверно ($p \leq 0,01$) выше на 5,2 %, чем в 3 группе (59,8 г), которое характеризуется относительно вытянутой формой, при недостоверной разнице (1,6%) с 4 группой (61,9 г).

Основной задачей при инкубировании яиц является получение высоких показателей выводимости, вывода цыплят и большого числа кондиционного молодняка. Именно эти показатели определяют эффективность работы птицеводческого предприятия. В отличие от других животных развитие птичьего зародыша

происходит вне тела матери, а потому качество яиц оказывает огромное влияние на жизнеспособность эмбриона и интенсивность его развития [199, 254].

Для выявления основных факторов, влияющих на инкубацию и качество цыплят, был проведен анализ результатов инкубации.

Анализ полученных результатов в совокупной выборке свидетельствует о достаточно высоком уровне оплодотворенности (88,7% - 94,6%) и выводимости (85,2% - 92,8%) яиц. В результате инкубации получено 1611 голов. При этом процент вывод цыплят в совокупной выборке в среднем составил 85,2%, в том числе: 1 группа – 76,9% (208 гол); 2 группа – 86,0% (521 гол); 3 группа - 87,4% (417 гол); 4 группа – 86,5% (465 гол). При разделении цыплят по полу получено всего курочек 804 гол (49,9%), в том числе: 1 группа – 101 гол (48,6%); 2 группа - 264 гол (50,7%); 3 группа – 209 гол (50,1%); 4 группа – 230 гол (49,5%).

Живая масса суточных цыплят в подопытных группах имела определенную вариабельность. В первой группе живая масса варьировала от 31,8 г до 35,6 г, при коэффициенте вариации 3,7%, а во второй, третьей и четвертой группе от 37,5 г до 42,9 г с величиной коэффициента вариации 4,1%, 4,5% и 6,3%, соответственно. Учитывая высокую корреляционную связь между массой яиц и массой суточных цыплят выявлена закономерно достоверно ($P \leq 0,05$) низкая живая масса суточных цыплят, полученных от яиц массой до 55 г. Масса суточных цыплят второй группы была выше чем в третьей и четвертой группе на 1,2% ($p \leq 0,05$) и 0,7%, соответственно.

После анализ результатов инкубации, оценки суточных цыплят, отбраковки некондиционного поголовья подопытные цыплята вместе с основным приобретаемым поголовьем были перевезены на птицеводческое предприятие (ООО «Сарапульская птицефабрика», город Сарапул, Удмуртская Республика) и размещены в контрольных клетках с целью изучения их интенсивности роста, развития и продуктивных качеств.

Основными характеристиками роста и развития молодняка являются величина его живой массы и среднесуточный прирост в контрольные возрастные периоды. Параметры, характеризующие интенсивность роста и развития анализируемого поголовья птицы представлены в таблице 42.

В возрасте семь дней достоверно ($p \leq 0,001$) низкие среднесуточные приросты на 12,8-15,0% выявлены в первой группе цыплят. По живой массе и среднесуточным приростам живой массы цыплят между второй, третей и четвертой группой достоверных различий не выявлено. Такая же тенденция по живой массе и среднесуточным приростам ремонтного молодняка отмечается во все возрастные периоды от рождения до возраста 17 недель.

В возрасте 17 недель (119 дней) разница по живой массе ремонтного молодняка между второй, третьей и четвертой группой была не существенной и варьировала от 0,2% до 0,9%, а по среднесуточным приростам от 1,3% до 2,6%. Ремонтный молодняк первой группы достоверно ($p \leq 0,001$) уступал сверстницам по живой массе на 301,6 – 315,4 г, а по среднесуточным приростам от 17,3% ($p \leq 0,01$) до 20,3% ($p \leq 0,001$), соответственно.

Однородность птицы по живой массе при переводе в промышленное стадо (в возрасте 110-119 дней) в группах составила 80,3-85,9%. При этом самой низкой (80,3%) однородностью по живой массе характеризовался молодняк первой группы. Величина однородности анализируемого поголовья превышает рекомендуемые требования, который составляет не менее 80%.

Согласно принятой технологии на предприятии ремонтный молодняк в первые 110 дней выращивается в специализированных помещениях, а затем переводится в цех промышленного стада кур, где происходит его доращивание. Сохранность подопытного поголовья в группах была относительно высокой и находилась на уровне: 1 группа - 92,0%; 2 группа - 95,0%; 3 - 96,2; 4 группа - 95,2%.

Таблица 41 - Результаты инкубации яиц разных морфометрических параметров и качество суточных цыплят

Показатель	Масса яиц											
	Масса до 55 г			Масса от 55 г до 70 г								
	Индекс формы (0,587-0,812)			Индекс формы (0,695-0,730)			Индекс формы (0,731-0,765)			Индекс формы (0,766-0,800)		
	1 группа (n=270)			2 группа (n=606)			3 группа (n=477)			4 группа (n=537)		
	x±Δx	Cv %	lim	x±Δx	Cv %	lim	x±Δx	Cv %	lim	x±Δx	Cv %	lim
Индекс формы	0,697±0,003	6,5	0,585-0,815	0,713±0,002	6,3	0,695-0,730	0,748±0,001	7,2	0,731-0,765	0,783±0,003	6,4	0,766-0,800
Масса яйца, г	51,4±0,29	3,3	47,8-54,9	62,9±0,34	4,6	55,9-68,9	59,8±0,51	5,4	55,4-69,2	61,9±0,65	6,7	55,8-68,7
Неоплодотворенные яйца, шт/%	31/11,3			35/5,7			26/5,4			33/6,1		
Оплодотворенность, %	88,7			94,3			94,6			93,9		
Замершие, шт/%	6/2,3			7/1,1			6/1,3			8/1,5		
Задохлики, шт/%	26/9,5			44/7,2			28/5,9			33/6,2		
Вывод цыплят, гол/%: в т.ч. курочек, гол.	208/76,9 101			521/86,0 264			417/87,4 209			465/86,5 230		
Выводимость яиц, %	85,2			91,7			92,8			92,6		
Живая масса суточных цыплят, г	33,4±0,25	3,7	31,8-35,6	40,8±0,19***	4,5	37,9-42,5	40,3±0,15***	4,1	37,5-42,2	40,5±0,18***	6,3	37,7-42,9

Примечание: разность по сравнению с группой 1 достоверна при p≤0,05*; p≤0,01**; p≤0,001***

Высоким уровнем выбраковки также характеризовался молодняк первой группы, величина которого составила 3,9%, при этом во второй, третьей и четвертой группе она составила 0,85-0,89%. Половая зрелость (50% яйценоскости) кур-молодок наступила примерно в одно и тоже время, в возрасте 20-21 неделя.

Анализ параметров роста и экстерьерных особенностей кур-несушек анализируемых групп представлен в таблице 43.

Куры-несушки 1 опытной группы во все возрастные периоды имея более низкую живую массу и менее развитый корпус тела в возрасте 42 недели также достоверно уступали своим сверстницам 2, 3 и 4 подопытных групп по живой массе на 5,1-7,7% ($p \leq 0,001$), по длине туловища на 6,0-4,3% ($p \leq 0,05$), глубине груди на 5,7-7,9% ($p \leq 0,01$), длине киля на 15,7-19,5% ($p \leq 0,001$) и ширине таза на 6,1-8,2% ($p \leq 0,05$), соответственно.

Для анализа экстерьера сельскохозяйственной птицы в целостности был рассчитан индекс туловища и индекс типа телосложения. Разработанная нами формула позволила провести комплексную оценку экстерьера в числовом выражении и проанализировать взаимосвязь телосложения с уровнем яичной продуктивности кур и морфометрическими параметрами яиц. Полученные результаты показывают, что куры 1 опытной группы по сравнению со сверстницами 2, 3, 4 групп обладают более низким (на 7,1-8,1%, $P < 0,01$) значениями индекса туловища и (на 0,4-7,1%) индекса типа телосложения, что свидетельствует о менее объемном размере корпуса птицы и сбитом типе телосложения.

Таблица 42 - Динамика живой массы, среднесуточных приростов ремонтных молодок и экстерьерные параметры кур-несушек

Показатель	1 группа (n=100)			2 группа (n=261)			3 группа (n=208)			4 группа (n=229)		
	x±Δx	Cv %	lim	x±Δx	Cv %	lim	x±Δx	Cv %	lim	x±Δx	Cv %	Lim
Живая масса суточных цыплят (курочек), г	31,2± 0,14	3,9	29,5-33,3	36,1± 0,17***	4,9	34,5-38,0	35,5± 0,22***	5,2	32,9-37,8	35,7± 0,18***	5,2	32,5-38,1
Возраст молодняка 0-7 день												
Живая масса на конец учетного периода, г	57,4±0,46	11,4	53,9-62,8	68,2±0,34***	11,4	63,9-76,1	67,6±0,23***	10,1	59,7-75,1	68,1±0,55***	13,4	59,8-77,7
Среднесуточный прирост, г	3,4±0,15	9,2	2,4-4,5	3,9±0,2	10,1	2,9-5,1	3,9±0,18	9,1	3,1-5,3	4,0±0,14	8,7	3,1-5,4
14-42 день												
Живая масса на конец учетного периода, г	434,7±1,12	10,1	346-589	481,4±1,69	12,0	361-597	489,5±2,01	12,6	379-612	488,1±2,19	12,8	376-586
Среднесуточный прирост, г	12,2±0,25	12,0	8,9-14,2	13,3±0,29*	13,5	8,3-16,3	13,6±0,31**	14,7	9,8-17,2	13,4±0,23*	10,9	8,1-16,2
98-119 день												
Живая масса на конец учетного периода, г	1318,8±11,14	9,6	1310-1713	1634,2±10,12***	7,8	1445-1791	1631,4±10,53***	7,9	1412-1789	1620,4±11,07***	8,5	1391-1794
Среднесуточный прирост, г	13,3±0,35	11,2	13,5-18,1	15,8±0,42***	11,7	13,3-18,1	16,0±0,45***	12,5	13,1-17,6	15,6±0,29**	7,4	12,8-18,1

Примечание: разность по сравнению с группой 1 достоверна при p≤0,05*; p≤0,01**; p≤0,001***

Таблица 43 - Экстерьерные особенности, яичная продуктивность кур и морфометрические параметры яиц (42 недели)

Показатель	Группа							
	1		2		3		4	
	x±Δx	Cv	x±Δx	Cv	x±Δx	Cv	x±Δx	Cv
n (голов)	92		248		200		218	
Живая масса, г	1801,9±13,3	6,4	1892,8±17,5***	5,4	1917,2±20,22***	7,7	1951,6±16,36***	5,2
Промеры кур, см: Прямая длина туловища	15,7± 0,31	16,1	16,5±0,21*	9,5	16,7±0,25*	10,7	16,4±0,23*	9,0
Глубина груди	8,2±0,20	16,1	8,9±0,14*	11,7	8,8±0,14*	11,6	8,7±0,16*	10,9
Длина киля	10,2±0,23	15,5	12,6±0,21***	12,2	12,1±0,16***	9,8	12,4±0,22***	11,3
Ширина таза	9,3±0,19	14,30	9,9±0,17*	12,6	10,1±0,13*	9,7	10,2±0,18*	11,2
Длина плюсны	7,9±0,15	15,0	7,5±0,14	11,0	7,1±0,013	10,5	7,3±0,15	9,80
Индекс туловища	1,082±0,017	9,6	1,177±0,013**	8,3	1,176±0,014**	8,4	1,164±0,017**	9,6
Индекс типа телосложения	0,752±0,08	9,6	0,707±0,04	8,3	0,702±0,04	8,4	0,707±0,05	9,6
Яйценоскость, на среднюю несушку шт (с 21 по 42 неделю)	148,7± 3,82	11,8	142,4± 3,13	9,1	139,5± 3,54	10,6	136,9± 3,79	11,2
Интенсивность яйценоскости, %	96		94		93		91	
Морфологические признаки яиц: масса яйца, г яичная масса, кг	54,2±0,35 8,3±0,25	5,6 8,4	58,6±0,36*** 8,3±0,17	5,7 6,5	58,4±0,39*** 8,1±0,19	6,2 7,1	58,7±0,34*** 8,0±0,21	5,7*** 7,9
большая полуось, см	3,1±0,07	8,1	3,5±0,05**	7,7	3,4±0,03*	6,1	3,3±0,04*	6,5
малая полуось, см	2,2±0,05	8,9	2,5±0,04**	8,5	2,6±0,02***	6,1	2,7±0,03***	7,6
площадь продольного сечения, $см^2$	18,3±0,52	11,4	22,7±0,49***	10,3	22,6±0,42***	8,4	22,5±0,45***	9,7

Продолжение таблицы 43

Показатель	Группа							
	1		2		3		4	
	x±Δx	Cv	x±Δx	Cv	x±Δx	Cv	x±Δx	Cv
n (голов)	92		248		200		218	
площадь попереч-ного сечения, $см^2$	14,5±0,39	9,6	18,3±0,42***	11,3	18,4±0,38***	9,2	18,3±0,44***	12,7
объем яйца	70,1±1,07	13,3	75,4±1,41*	17,9	74,0±1,01*	12,8	73,7±1,14*	12,9
угол острого конца,	97,9±0,49	4,7	98,4±0,45	8,5	99,5±0,44	4,1	99,2±0,46	4,4
индекс формы яйца	0,774±0,004	4,3	0,795±0,003***	4,0	0,799±0,002***	3,1	0,793±0,005***	6,7

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

Для оценки уровня яичной продуктивности и качества яиц кур в возрасте 42 недель в два смежных дня было учтено количество снесенных яиц. Полученное яйцо было оценено по морфометрическим параметрам. Высокая интенсивность яйцекладки (96%) выявлена у кур-несушек 1 группы, что выше, чем во 2, 3 и 4 группах на 2п. п, 3п. п., и 5п. п., соответственно. От кур-несушек 1 группы биологически закономерно получено более мелкое яйцо, следовательно, масса яиц (на 8,7 - 7,2 %) и величина морфометрических параметров была достоверно ($p \leq 0,05$; $p \leq 0,01$; $p \leq 0,001$) ниже в среднем на 7,0-20,6%. При этом индекс формы яйца был достоверно ($p \leq 0,001$) ниже на 2,6-3,1%.

При анализе степени корреляционной связи (по Спирмену) выявлена положительная взаимосвязь между индексом туловища и индексом формы яйца. При этом коэффициент корреляции (ρ) по группам составил - 0,37; 0,35; 0,36; 0,41, соответственно.

На четвертом (заключительном) этапе исследований по инкубации яиц провели анализ результатов инкубации, определили пол и качество суточных цыплят, полученных от яиц разных морфометрических параметров.

На современном этапе развития животноводства (птицеводства) в России, так же, как и во всем мире с целью производства достаточного количества качественной продукции все большее значение приобретают мероприятия, направленные на повышение продуктивности сельскохозяйственных птиц, производство экологически чистой продукции, обладающей высокой биологической ценностью и рациональное использование племенных ресурсов мирового генофонда. Особую актуальность представляют вопросы организации высокоэффективного производства в условиях промышленных предприятий с низкой себестоимостью продукции птицеводства.

Таким образом, результатами исследований установлено, что от качества инкубационных яиц зависят результаты инкубации и качество суточных цыплят. В последующем это оказало влияние на рост и развитие ремонтного молодняка, экстерьерные особенности и яичную продуктивность кур-несушек, массу яиц и их морфометрические параметры.

В наших исследованиях определенный интерес представляет изучение степени влияния морфометрических параметров инкубационных яиц на половую принадлежность суточных цыплят (таблица 44).

Таблица 44 - Морфометрические показатели инкубационных яиц разной половой принадлежности (n=270)

Показатели	Пол цыплят					
	Петушки			Курочки		
	$\bar{x} \pm \Delta x$	Cv, %	Lim (min-max)	$\bar{x} \pm \Delta x$	Cv, %	lim (min-max)
Масса яйца, г	59,6±0,35	4,5	58,7-61,5	58,9±0,28	3,5	58,2-60,5
Масса цыпленка, г	41,2±0,31	5,7	39,4-42,5	39,9±0,27*	4,9	37,5-40,2
Угол острого конца	96,8±0,55	4,4	89-108	102,2±0,60***	4,3	92-111
Большой диаметр, см	6,3±0,03	4,1	5,4-7,1	6,2±0,03*	3,1	5,9-6,7
Малый диаметр, см	4,8±0,03	4,8	3,9-5,3	4,9±0,02 *	2,7	4,5-5,1
Длина большей окружности, см	17,4±0,09	3,9	14,7-19,7	17,3±0,06*	2,5	16,6-18,8
Длина меньшей окружности, см	14,9±0,09	4,8	12,3-16,6	15,0±0,06*	2,7	14,1-16,1
Большая полуось, см	3,5±0,04	7,8	2,9-4,3	3,6±0,03	7,8	3,1-4,3
Малая полуось, см	2,8±0,04	9,9	2,2-3,3	2,6±0,03*	7,8	2,1-3,0
Площадь продольного сечения, $см^2$	26,2±0,33	9,7	19,8-32,1	27,0±0,31	8,5	22,6-32,3
Площадь поперечного сечения, $см^2$	17,8±0,22	9,4	12,0-22,1	17,9±0,13	5,4	15,9-20,4
Площадь поверхности, $см^2$	86,1±0,91	8,1	60,1-108,8	86,2±0,54	4,6	77,9-99,5
Объем яйца, $см^3$	73,9±1,17	12,2	52,6-104,4	73,8±0,70	6,9	63,6-91,3
Индекс формы яйца	0,676±0,009	8,4	0,548-0,815	0,648±0,008*	8,3	0,546-0,749

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

Мировая индустрия яичного птицеводства производит миллиарды суточных цыплят каждый год для замены кур-несушек промышленного и родительского стада. В суточном возрасте цыплят разделяют по полу, петушков отбраковывают, и следует гуманно избавляться от них, поскольку для производства яиц выращиваются только курочки и незначительное поголовье петушков (не более 5 %) для комплектования родительского стада. Утилизация нежелательных цыплят-самцов создает проблемы с эффективностью птицеводства и снижает рентабельность производства.

Морфологические и физико-химические показатели яиц, по которым проводят их оценку под влиянием различных факторов, подвержены значительной изменчивости, но наибольшей вариабельностью отличаются морфологические признаки и в значительно меньшей степени физико-химические, характеризующие содержимое яиц, которые, в конечном счете, определяют их выводимость.

Комплексное изучение качества яиц является одним из основных путей повышения продуктивности и эффективности отрасли птицеводства. Повышение выводимости яиц и качества выведенного молодняка является управляемым процессом при условии регулярного проведения контроля за качеством яиц и эмбриональным развитием сельскохозяйственной птицы [178, 305].

Для проведений исследований были визуально проанализированы и отобраны яйца в количестве 270 шт., полученные от кур коричневых (аутосексных) кроссов «Ломанн Браун Классик» и «Браун Ник». С целью снижение степени влияния фактора «масса яйца» на результаты прогнозирования пола будущих цыплят для инкубирования были отобраны яйца относительно однородной массы: от 58 г до 62 г. По данным ряда отечественных и зарубежных ученных яйца с такой массой обладают максимально высокими инкубационными качествами. После предварительной подготовки и получения изображений путем фотографирования, яйца были пронумерованы и заложены в инкубатор и проинкубированы по общепринятым режимам. За 3 дня до вывода яйца были переложены в выводные лотки и размещены в выводных шкафах.

Лотки были разделены на ячейки размером 90 мм х100 мм. Для этого использовали картон толщиной 4 мм. Яйца были размещены в ячейках по 1 шт (рисунок 27).

Для выявления основных факторов, влияющих на инкубацию и качество цыплят, был проведен анализ результатов инкубации.

Анализ полученных результатов свидетельствует о достаточно высоком уровне оплодотворенности (92,9%) и выводимости (88,7%) яиц. В результате инкубации получено 226 голов, при этом процент вывод цыплят составил 83,7%. При разделении цыплят по полу получено петушков 115 гол, курочек 111гол.

Масса яйца является одной из значимых физический показатель пищевой и товарной ценности, определяющий продуктивность птицы, а также учитывающийся при инкубации яиц. Для того чтобы получить однородный по массе молодняк, используют такую форму отбора яиц перед инкубацией, как формирование партии яиц с однородной массой. Установлена высокая корреляция между массами инкубационных яиц и выведенного молодняка [131].

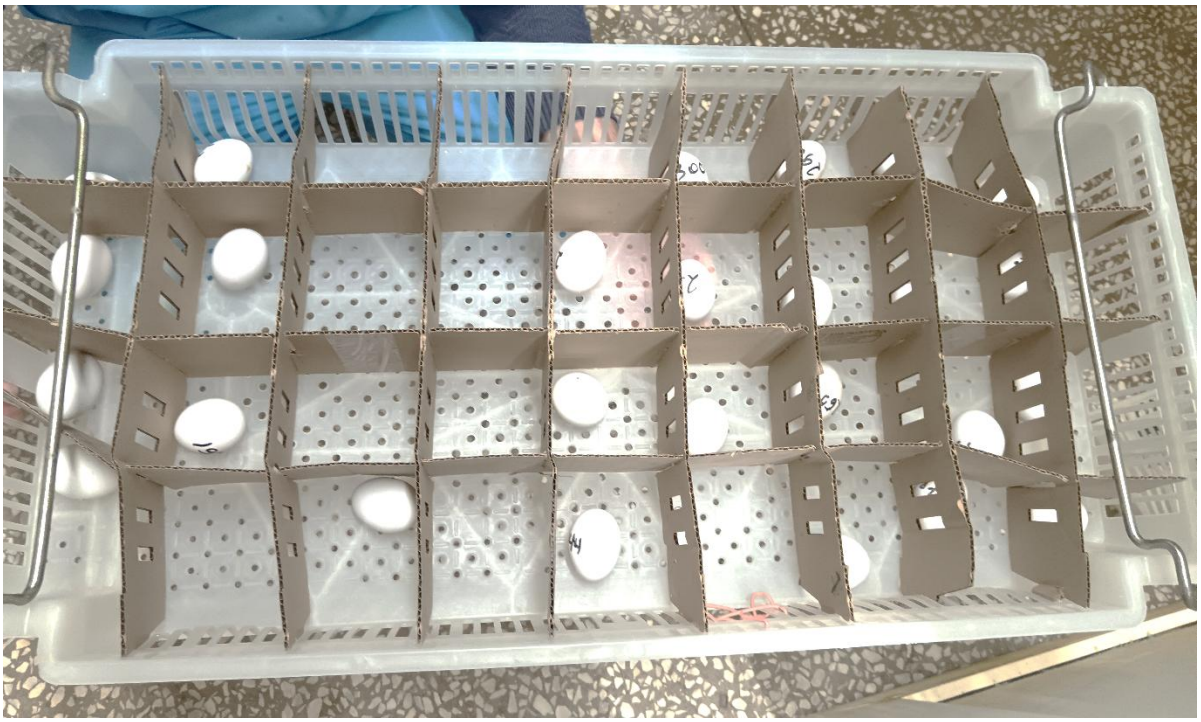


Рисунок 27 - Размещение яиц в выводных лотках с индивидуальными ячейками

Результатами наших исследований установлено, что средняя масса яиц, от которых получены петушки составила 59,6 г, что на 1,2% больше, чем масса яиц, от которых получены курочки при недостоверной разнице. Масса петушков была достоверно (P <0,05) выше, чем курочек на 1,3 г (3,3%).

От качества инкубационных яиц зависят выводимость и жизнеспособность цыплят. В связи с этим при подготовке яиц к инкубации проводят его морфометрическую оценку.

При анализе морфологических признаков, характеризующих внешние параметры яиц в зависимости от пола суточных цыплят установлено, что по таким анализируемым морфологическим параметрам как объем яйца, площадь поперечного сечения, большой диаметр, малый диаметр, площадь поверхности яйца, длина большей окружности, длина меньшей окружности существенной разницы между группами не выявлено. При этом разница варьировала от 0,04% до 0,41%. Величина площади продольного сечения и большая полуось яиц, от которых получены курочки была выше на 3,1% и 2,9%, при недостоверной разнице. Определённый интерес представляет величина (2,7 см) параметра малая полуось яиц, от которых получены петушки, что достоверно (P <0,01) выше на 7,7%. Выявлено, что яйца, от которых получены курочки имеют более округлую форму, которая определялась по величине острого конца яйца. При этом величина угла составила 102,2 градуса, что достоверно выше на 5,6% (P <0,001) чем у яиц, от которых получены петушки.

Форма яиц является важным показателем качества. К форме яиц предъявляют высокие требования. Это связано с тем, что стандартные яйца лучше сохраняются при транспортировке и от стандартных инкубационных яиц получают цыплят с оптимальной живой массой. Чем выше показатель индекса формы яиц, тем яйца имеют более заостренную форму острого конца. Полученные результаты показывают, что индекс формы яиц, от которых получены петушки варьировал от 0,548 до 0,815, а от яиц, от которых получены курочки от 0,546 до 0,749 единиц, соответственно.

Полученные корреляционные связи показывают, что между основными физико-морфологическими параметрами яиц и массой цыплят существует тесная связь. Анализ величины коэффициента корреляции между анализируемыми показателями свидетельствует, что между массой яйца и показателями, характеризующими внешние параметры, а также массой цыплят выявлена положительная и в некоторых случаях довольно сильная связь, которая варьировала от 0,02 (угол острого конца) до 0,57 (объем яйца). При этом следует отметить отрицательную или близкую к нулю связь в следующих величинах: «масса яйца – угол острого конца» - 0,02; «масса яйца – индекс формы яйца» - 0,07. Определенный интерес представляет величина положительной корреляционной связи между массой яйца и массой цыпленка (0,78) и величиной малой полуоси (0,22), а также между массой цыпленка и индексом формы яйца (0,18).

Морфометрические показатели яиц, по которым проводилась их оценка, а также масса яиц и масса цыплят подвержены определенной изменчивости. Наибольшей вариабельностью отличаются такие морфологические признаки как объем яйца (12,2% и 6,9%), площадь поперечного сечения, площадь продольного сечения, большая полуось, малая полуось и индекс формы яйца (от 5,4% до 9,7%). В значительно меньшей степени варьировали показатели, характеризующие объём яиц, которые, в конечном счете, определяют массу суточных цыплят: длина большей окружности (2,5% и 3,9%) и длина меньшей окружности (2,7% и 4,8%).

Таким образом, при подготовке к инкубации необходимо проводить оценку яиц по ряду морфологических признаков. Наиболее важные контролируемые показатели – это масса, форма яйца. Качество яиц, степень их соответствия предъявляемым требованиям определяется совокупностью признаков и рядом показателей. Оценка качества яиц является первым необходимым шагом для успешного проведения инкубации. Физические размеры и пропорции морфологических признаков, а также их абсолютная и относительная вели-

чина обусловлены наследственностью и формируются под влиянием большого количества факторов. Выявленная корреляционная связь дает основание полагать, что анализируемые показатели массы яиц и массы суточных цыплят в большей степени обусловлены абсолютной величиной внешних параметров яиц. Это позволит разработать алгоритм определения массы цыплят, их жизнеспособность и прогнозировать пол цыплят на ранней стадии развития эмбриона.

4.6 Разработка программы эффективной оценки, отбора и управления процессом сортировки яиц

Современное промышленное птицеводство сталкивается с необходимостью повышения эффективности селекционно-племенной работы и снижения затрат на инкубацию, выращивание и содержание птицы. Одним из ключевых направлений решения данной задачи является раннее прогнозирование продуктивности кур и определение пола эмбриона на доинкубационной стадии. Традиционные методы, основанные на длительном наблюдении за птицей или инвазивных процедурах, требуют значительных временных и трудовых ресурсов.

В последние годы активно развиваются подходы, использующие методы искусственного интеллекта, в частности нейросетевые технологии, для анализа экстерьера кур и геометрических параметров яиц. Эти методы позволяют автоматизировать процесс оценки и отбора яиц, не нарушая целостность скорлупы и не требуя продолжительного выращивания особи для выявления ее хозяйственно полезных признаков.

В рамках настоящего исследования разработана программа эффективной оценки, отбора и управления процессом сортировки яиц, включающая две самостоятельные, но взаимодополняющие нейросетевые модели. Первая из них предназначена для прогнозирования будущей яйценоскости кур на основе экстерьерных промеров, что дает возможность проводить раннюю селекцию

высокопродуктивных особей. Вторая — для неинвазивного определения пола эмбриона по геометрическим характеристикам яйца, что позволяет оптимизировать инкубацию и сократить вывод петушков в яичных кроссах.

4.6.1 Разработка нейросетевой модели прогнозирования продуктивности (яйценоскости) кур по экстерьерным показателям

Для прогнозирования яйценоскости Y на основе экстерьерных показателей кур используется многослойный перцептрон:

$$Y = f_{NN}(x; W) = \sigma^{(L)}(W^{(L)}\sigma^{(L-1)}\left(\dots\sigma\left(W^{(1)}x + b^{(1)}\right)\dots\right) + b^{(L)}), \qquad (95)$$

где x – входной вектор экстерьерных признаков; L - количество слоев, $W^{(l)}$; $b^{(l)}$ — веса и смещения на слое l; $\sigma^{(l)}$ — функция активации – сигмоида: $\sigma(z)=\frac{1}{1+e^{-z}}$.

В нейросетевой модели данные проходят через «слои». L обозначает номер слоя. На каждом слое данные снова умножаются на веса (W), к ним прибавляются смещения (b), и затем они пропускаются через функцию активации (σ). Сигмоида позволяет модели отключать одни нейроны и включать другие в зависимости от входных данных, чтобы создавать сложные зависимости.

Нейронная сеть выполняет роль регрессионной модели, которая по линейным промерам тела курицы предсказывает ее будущую яйценоскость. Это позволяет проводить раннюю селекцию высокопродуктивных особей без длительного наблюдения.

Входным слоем нейронной сети является экстерьерные параметры кур (таблица 45).

Выходным слоем является прогноз яйценоскости.

Таблица 45 – Промеры кур

№	Признак	Обозначение	Типичный диапазон, см	Нормализация
1	Глубина груди	x_1	8,0–12,0	$(x_1 - 8)/4$

№	Признак	Обозначение	Типичный диапазон, см	Нормализация
2	Длина киля	x_2	9,0–13,0	$(x_2 - 9)/4$
3	Ширина в маклоках	x_3	5,0–8,0	$(x_3 - 5)/3$
4	Ширина груди	x_4	3,5–6,0	$(x_4 - 3{,}5)/2{,}5$
5	Длина туловища	x_5	15,0–22,0	$(x_5 - 15)/7$

Архитектура сети регрессионного типа представлена в таблице 46.

Таблица 46 – Архитектура нейронной сети

№	Тип слоя	Размер	Активация	Параметры	Назначение
0	Входной (Input)	5 нейронов	-	0	5 промеров тела
1	Скрытый (Dense)	128 нейронов	ReLU	5*128+128=768	Извлечение сложных нелинейных зависимостей
2	Batch Normalization	128 нейронов	-	128*4=512	Стабилизация обучения
3	Dropout	0.3	-	0	Регуляризация, предотвращение переобучения
4	Скрытый (Dense)	64 нейрона	ReLU	128*64+64=8256	Компрессия признаков
5	Скрытый (Dense)	32 нейрона	ReLU	64*32+32=2080	Дальнейшее обобщение
6	Скрытый (Dense)	16 нейронов	ReLU	32*16+16=528	Подготовка к выходу
7	Выходной (Dense)	1 нейрон	Linear	16*1+1=17	Прогноз яйценоскости

Итого обучаемых параметров: 768 + 512 + 8256 + 2080 + 528 + 17 = = 12 161.

Ниже представлено последовательное математическое описание всех слоев разработанной регрессионной нейросетевой модели.

Слой 1 (скрытый):

$$h_1 = ReLU(W_1 x + b_1), \tag{96}$$

где $x \in R^5$ — входной вектор промеров, $W_1 \in R^{128\times5}$ — матрица весов, $b_1 \in R^{128}$ — вектор смещений, $\mathrm{ReLU}(z) = \max(0, z)$. Выбор ReLU обусловлен её способностью предотвращать проблему исчезающего градиента и обеспечивать разреженность активаций. Данный слой преобразует пять входных промеров в 128-мерное пространство признаков, позволяя сети обнаруживать сложные нелинейные комбинации экстерьерных измерений.

Слой 2 (Batch Normalization):

$$\widehat{h_1} = \gamma \odot \frac{h_1 - \mu}{\sqrt{\sigma^2 + \varepsilon}} + \beta, \tag{97}$$

где $, \sigma^2$ — среднее и дисперсия по мини-батчу, $\varepsilon = 10^{-5}$, $\gamma, \beta \in R^{128}$ — обучаемые параметры масштабирования и сдвига; $\odot$ обозначает поэлементное умножение (операция Адамара). Batch normalization позволяет стабилизировать распределение активаций, ускоряет сходимость и оказывает мягкое регуляризующее действие.

Слой 3 (Dropout):

$$\widetilde{h_1} = m \odot \widehat{h_1},\ \mathrm{m_i} \sim \mathrm{Bernoulli}(0{,}7), \tag{98}$$

где m — случайная маска, обнуляющая 30% нейронов на каждой итерации обучения. Выходные значения при $m_i = 0$ обнуляются, что эквивалентно временному «отключению» соответствующего нейрона. На этапе предсказания dropout отключается, и все нейроны работают с полными весами. Данный механизм предотвращает переобучение за счёт формирования избыточных представлений признаков.

Слой 4 (скрытый):

$$h_2 = ReLU\ (W_2 \widetilde{h_1} + b_2), \tag{99}$$

где $W_2 \in R^{64\times128}$ – матрица весов второго скрытого слоя; $b_2 \in R^{64}$ — вектор смещений. На этом этапе происходит сжатие информации с 128 до 64 измерений, что способствует выделению наиболее значимых комбинаций признаков и отсеиванию менее важных детекторов.

Слой 5 (скрытый):

$$h_3 = ReLU\ (W_3\widetilde{h_2} + b_3), \tag{100}$$

где $W_3 \in R^{32\times64}$ – матрица весов третьего скрытого слоя; $b_3 \in R^{32}$ — вектор смещений. Данный слой продолжает обобщение, сжимая информацию до 32 измерений, и формирует признаки, соответствующие типам телосложения, характерным для высокопродуктивных несушек.

Слой 6 (скрытый):

$$h_4 = ReLU\ (W_4\widetilde{h_3} + b_4), \tag{101}$$

где $W_4 \in R^{16\times32}$ – матрица весов третьего скрытого слоя; $b_4 \in R^{16}$ — вектор смещений. Этот слой является последним скрытым слоем перед выходом и выполняет финальную подготовку данных для прогноза. К этому моменту сеть уже выделила все значимые закономерности, и 16 нейронов представляют собой наиболее компактное и информативное описание курицы с точки зрения её потенциальной продуктивности.

Слой 7 (выходной):

$$\hat{y} = W_5 h_4 + b_5, \tag{102}$$

где $W_5 \in R^{1\times16}, b_5 \in R$ — вес и смещение выходного слоя. Линейная активация выбрана, так как яйценоскость является непрерывной величиной, не ограниченной интервалом [0,1]. Выходной слой вычисляет взвешенную сумму 16 входных сигналов и добавляет смещение, формируя итоговый прогноз.

Функция потерь – среднеквадратичная ошибка (MSE):

$$L = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(y_i - \hat{y_i})^2, \tag{103}$$

где N — размер обучающей выборки, y_i — фактическая яйценоскость, $\hat{y_i}$ — предсказанная сетью.

После того как функция потерь определена, необходимо задать параметры процесса оптимизации. Выбор этих параметров существенно влияет на скорость сходимости алгоритма обучения и итоговое качество модели. К основным настраиваемым параметрам относятся тип оптимизатора, скорость обучения, размер мини-батча (batch size), количество эпох обучения и коэффициент L2-регуляризации. В таблице 47 представлены значения этих параметров, выбранные для обучения разработанной нейросетевой модели, а также обоснование каждого выбора.

Таблица 47 — Параметры обучения

Параметр	Значение	Обоснование
Оптимизатор	Adam	Адаптивная скорость обучения
Скорость обучения	0,001	Стандартное значение для Adam
Batch size	32	Выбран экспериментально как компромисс между скоростью и стабильностью обучения
Эпохи	до 200	Ранняя остановка при ухудшении валидации
L2-регуляризация	0,0001	Дополнительная борьба с переобучением

Для объективной оценки обобщающей способности нейронной сети и предотвращения переобучения исходная размеченная выборка данных разделяется на три непересекающиеся подвыборки: обучающую (train), валидационную (validation) и тестовую (test). На обучающей выборке непосредственно корректируются веса сети в процессе минимизации функции потерь. Валидационная выборка используется для настройки гиперпараметров (например, для ранней остановки обучения при отсутствии улучшения качества на валидации). Тестовая выборка, не участвующая ни в обучении, ни в настройке ги-

перпараметров, служит для финальной оценки точности модели на новых, ранее не использованных данных. В таблице 48 приведено распределение данных по указанным выборкам.

Таблица 48 — Разделение данных

Выборка	Доля	Назначение
Обучающая (Train)	70%	Непосредственное обучение весов
Валидационная (Validation)	15%	Настройка гиперпараметров, ранняя остановка
Тестовая (Test)	15%	Финальная оценка качества на новых данных

После завершения обучения модель может быть использована для прогнозирования яйценоскости по экстерьеру курицы. алгоритм прогнозирования яйценоскости на новых данных изображен на рисунке 28.

Функция прогноза представлена следующим выражением:

$$\widehat{y_{\text{new}}} = \mathcal{C} f_{NN}\left(x_{\text{new};W^*,b^*}\right), \quad (104)$$

где W^*, b^* – оптимальные веса, полученные в результате обучения на обучающей выборке; x_{new} — вектор нормализованных промеров новой курицы; f_{NN} — прямое распространение сигнала через все слои обученной сети в соответствии с математическими описаниями, приведенными выше.

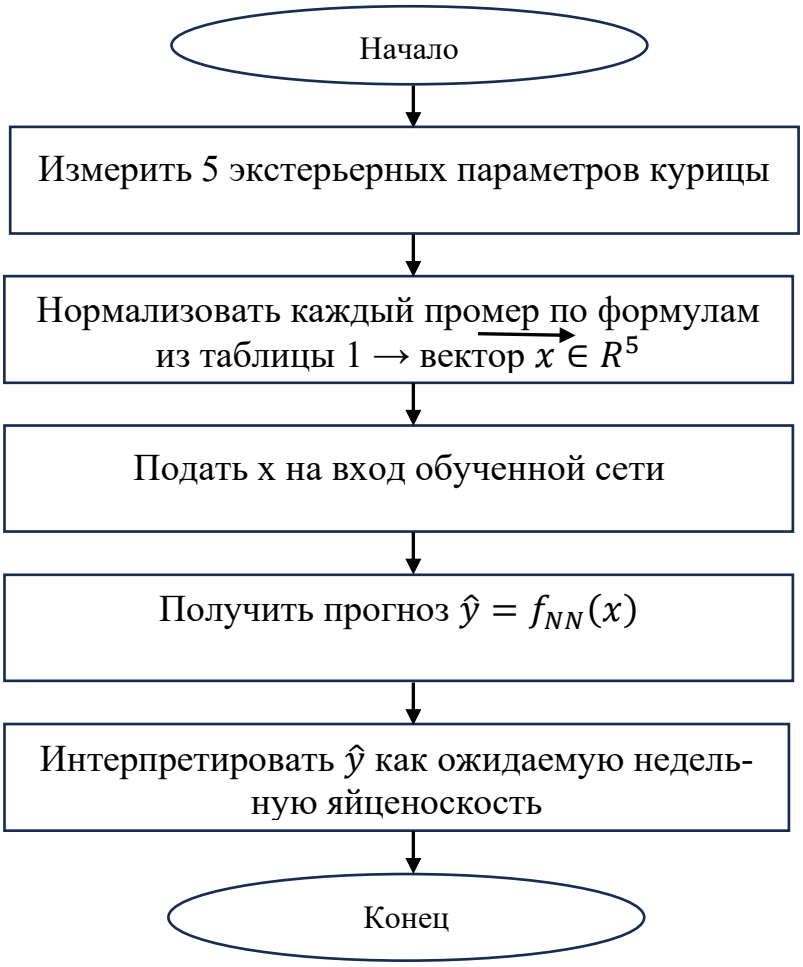


Рисунок 28 – Алгоритм работы модели прогноза яйцеоскости

Для объективной оценки эффективности разработанной регрессионной модели используются метрики, позволяющие количественно охарактеризовать точность прогнозирования яйценоскости. Выбор метрик обусловлен необходимостью оценить, как абсолютную ошибку прогноза, так и относительную точность модели, а также долю объясненной дисперсии.

В таблице 49 представлены основные метрики качества, применяемые для оценки регрессионных моделей прогнозирования продуктивности птицы.

Таблица 49 — Метрики качества регрессионной модели

Метрика	Обозначение	Формула	Назначение
Среднеквадратичная ошибка	MSE	$\mathrm{MSE} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \widehat{y_i})^2$	Оценивает средний квадрат отклонения прогнозов от фактических значений.
Корень из среднеквадратичной ошибки	RMSE	$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\mathrm{MSE}}$	-
Средняя абсолютная ошибка	MAE	$\mathrm{MAE} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i - \widehat{y_i}$	Измеряет среднюю абсолютную величину ошибки.
Средняя абсолютная процентная ошибка	MAPE	$\mathrm{MAPE} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{y_i - \widehat{y_i}}{y_i} * * 100\%$	Выражает ошибку в процентах
Коэффициент детерминации	R^2	$R^2 = = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}$	Оценивает долю дисперсии зависимой переменной, объясняемую моделью.
Скорректированный коэффициент детерминации	R^2_{adj}	$R^2_{\mathrm{adj}} = = 1 - \frac{(1-R^2)(n-1)}{n-k-1}$	Учитывает количество предикторов в модели, предотвращая завышение оценки качества за счёт добавления избыточных признаков

В таблице n — количество наблюдений в выборке; y_i — фактическое значение яйценоскости i-го наблюдения; $\widehat{y_i}$ — предсказанное моделью значение; $\bar{y}$ — среднее арифметическое фактических значений; k — количество входных признаков.

Одной из ключевых проблем при обучении нейронных сетей на ограниченных выборках является переобучение — явление, при котором модель запоминает шум и частные особенности обучающих данных вместо обобщаю-

щих закономерностей. Для минимизации этого эффекта в архитектуру разработанной сети были включены специализированные механизмы регуляризации, представленные в таблице 50.

Таблица 50 — Механизмы предотвращения переобучения

Механизм	Параметр	Эффект
Dropout	0,3	Случайное отключение 30% нейронов
Batch Normalization	-	Стабилизация распределений
L2-регуляризация	0,0001	Штраф за большие веса
Ранняя остановка	patience = 10	Остановка при ухудшении валидации
Валидационная выборка	15%	Мониторинг обобщающей способности

Обобщая вышеизложенное, сведем основные характеристики разработанной нейросетевой модели в итоговую спецификацию, представленную в таблице 51.

Разработанная нейросетевая модель позволяет проводить раннюю селекцию высокопродуктивных особей без длительного наблюдения на основе экстерьерных параметров курицы.

Таблица 51 — Итоговые параметры нейронной сети

Параметр	Значение
Тип сети	Многослойный перцептрон (MLP)
Тип задачи	Регрессия
Вход	5 экстерьерных промеров (таблица 51)
Выход	Яйценоскость (яиц / за учетный период)
Скрытых слоёв	4 (128 → 64 → 32 → 16)
Всего параметров	12 161

Параметр	Значение
Функция потерь	MSE
Оптимизатор	Adam
Batch size	32
Эпохи	до 200 (с ранней остановкой)

4.6.2 Результаты прогнозирования яйценоскости кур на основе нейросетевой модели

В ходе выполнения программы было обработано 52 образца кур, для каждого из которых измерены семь экстерьерных признаков и учтена яйценоскость за 420 дней продуктивного периода. Анализ показал, что средняя яйценоскость в исследуемой выборке составила 348 яиц при разбросе от 321 до 371 яйца и стандартном отклонении 14 яиц (рисунок 29).

Наиболее важным результатом корреляционного анализа является выявление взаимосвязей между экстерьерными признаками кур и их яичной продуктивностью. Установлено, что длина туловища имеет умеренную положительную корреляцию с яйценоскостью (коэффициент корреляции 0,52). Это означает, что куры с более длинным туловищем в среднем демонстрируют более высокую продуктивность. Одновременно с этим выявлена отрицательная корреляция индекса типа телосложения ИТТ с яйценоскостью (рисунок) (коэффициент -0,43), а также индекса туловища ИТ (коэффициент -0,31).

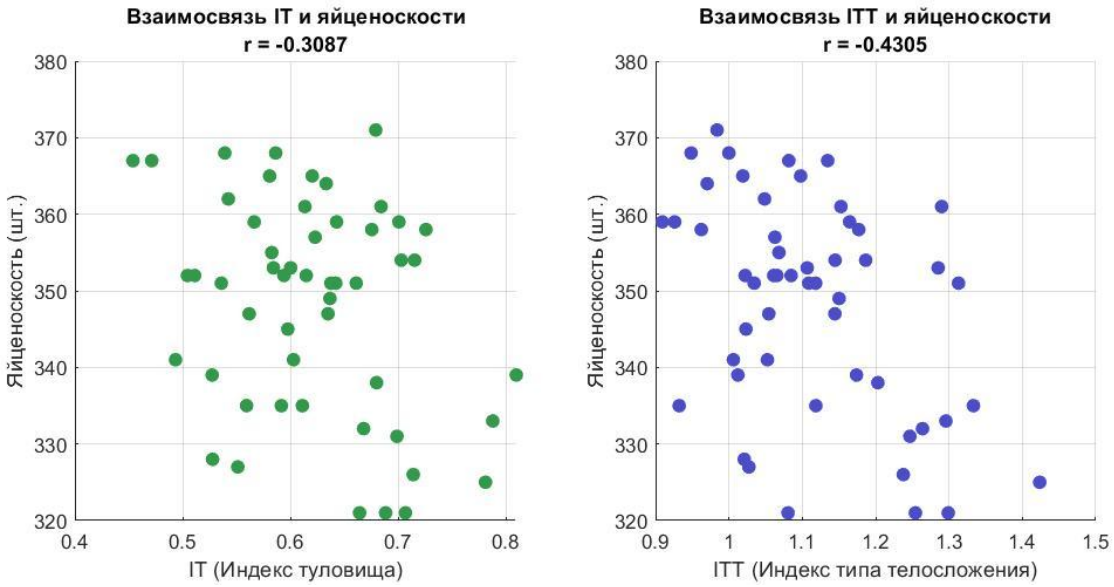


Рисунок 29 – взаимосвязь индексов туловища и типа телосложения с яйценноскостью

Эти данные свидетельствуют о том, что птица с более компактным, сбитым телосложением имеет тенденцию к снижению яичной продуктивности. Остальные признаки, такие как глубина груди, длина киля и длина плюсны, показали крайне слабую связь с продуктивностью (коэффициенты менее 0,1), что указывает на их низкую прогностическую ценность.

Разработанная нейросетевая модель успешно прошла обучение и продемонстрировала отличную способность к аппроксимации данных на обучающей выборке — среднеквадратичная ошибка составила всего 0,0001, а коэффициент детерминации R^2 достиг 1,0 (рисунок 30).

Это подтверждает корректность выбранной архитектуры сети и алгоритма обучения, а также свидетельствует о том, что теоретические основы метода реализованы верно.

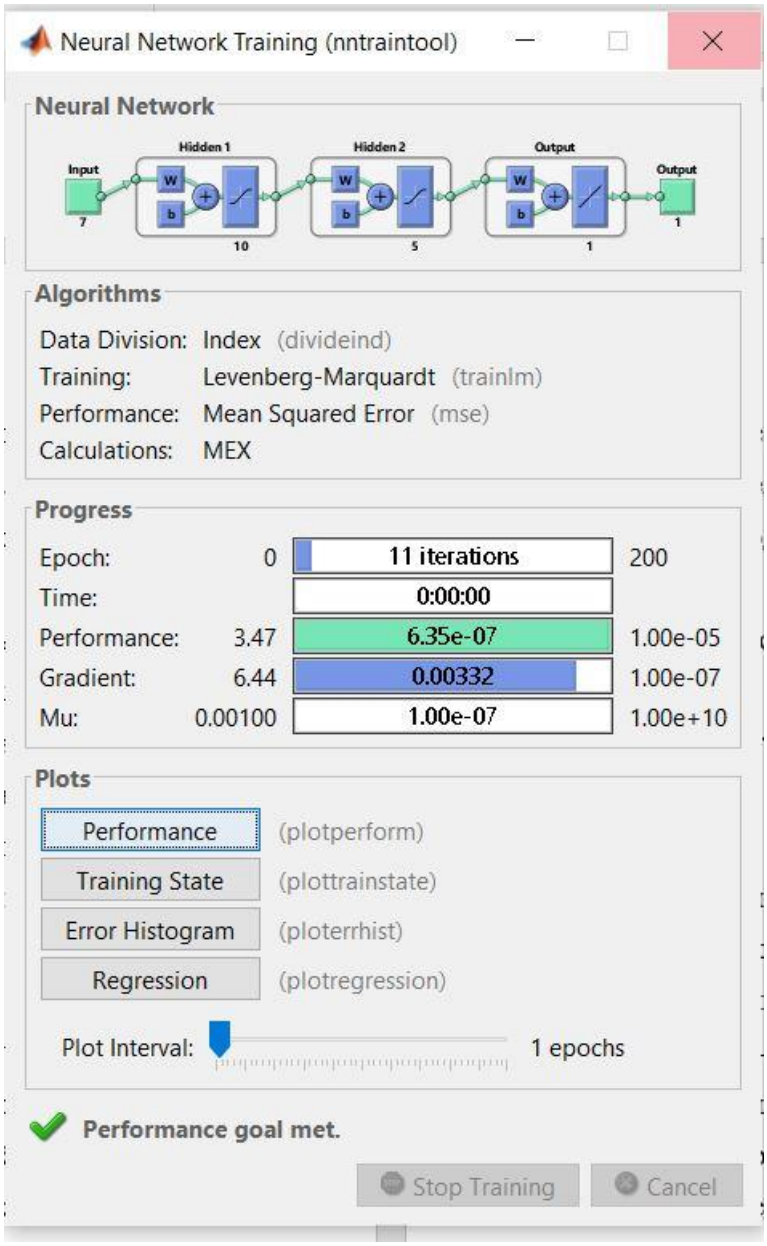


Рисунок 30 – Результат обучения нейронной сети

При тестировании модели (рисунок 31) 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.

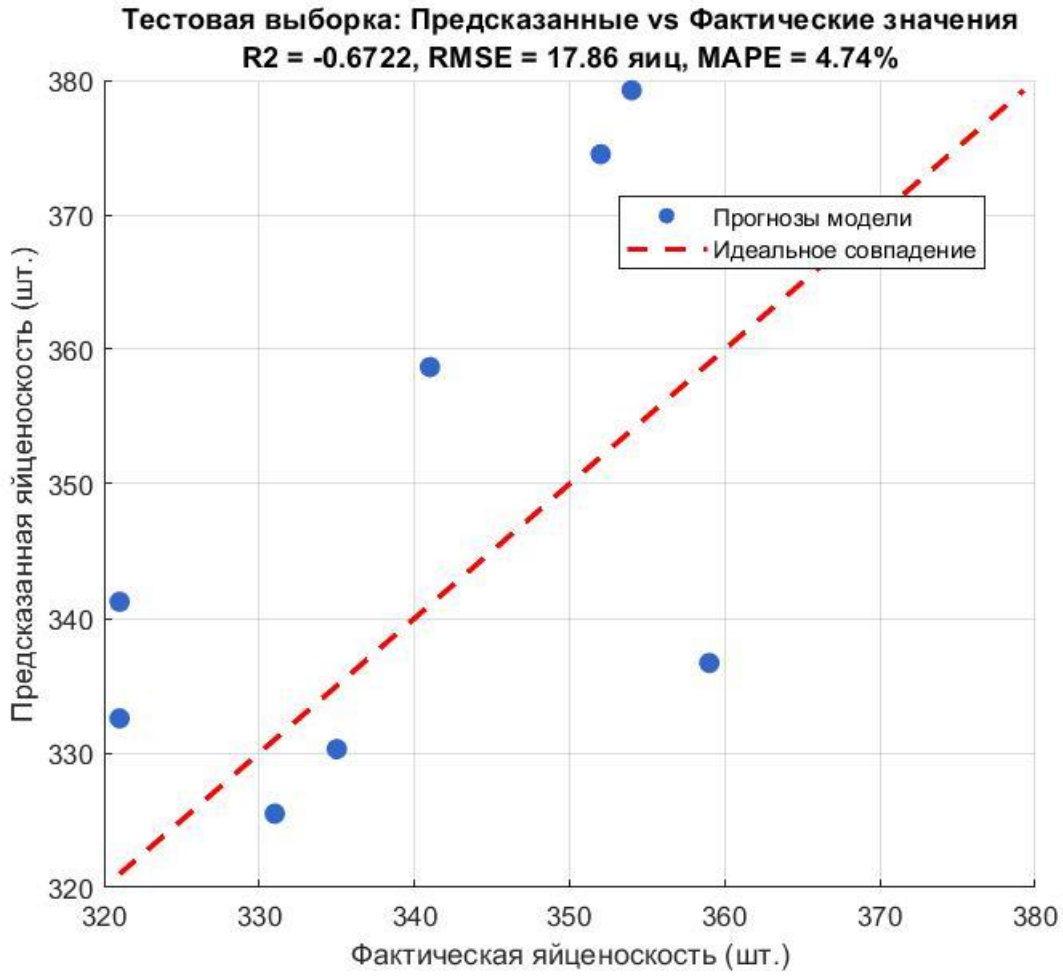


Рисунок 31 – Сравнение предсказанной яйценоскости с фактической

Корень из среднеквадратичной ошибки составил 17,9 яйца, а средняя абсолютная ошибка — 16,2 яйца, что при средней продуктивности 348 яиц составляет около 5% от среднего значения. Такая точность является обнадёживающей и показывает потенциал метода.

Важно отметить, что обнаруженные различия между результатами на обучающей и тестовой выборках объясняются не недостатками разработанного алгоритма, а объективным лимитирующим фактором — ограниченным объёмом доступных данных (всего 52 образца). Для нейросетевых моделей с семью входными признаками и двумя скрытыми слоями статистически значимые результаты требуют выборки объёмом 200-500 образцов. При увеличении объёма данных ожидается существенное повышение обобщающей способности модели и снижение ошибки на тестовой выборке.

Таким образом, разработанная методология и программный инструментарий доказали свою работоспособность и перспективность. Полученные результаты позволяют рекомендовать дальнейшее развитие системы в направлении накопления большего объёма экспериментальных данных, после чего точность прогнозирования достигнет уровня, достаточного для промышленного внедрения. Корреляционные зависимости, выявленные в ходе исследования, уже сейчас могут быть использованы в практической селекционной работе, что подтверждает высокую значимость выполненной работы для развития яичного птицеводства.

4.6.3 Разработка нейросетевой модели определения пола эмбриона по геометрическим параметрам яйца

Форма яйца описывается набором признаков, извлекаемых из изображения после его сегментации и обработки. Пол цыплёнка является бинарной величиной:

$$y \in \{0,1\}, \tag{105}$$

где y = 0 – петушок; y = 1 – курочка.

Из изображения яйца после бинаризации и выделения контура вычисляются следующие геометрические параметры, представленные в таблице 52.

Таблица 52 - Основные параметры

Параметр	Обозначение	Формула	Описание
Большая полуось	a	$a = \frac{L}{2}$	Половина длины яйца

Продолжение таблицы 52

Параметр	Обозначение	Формула	Описание
Малая полуось	b	$b = \frac{W}{2}$	Половина ширины яйца
Длина	L	$L = \max 1_{i,j}\, d(P_i, P_j)$	Максимальное расстояние между точками контура
Ширина	W	$W = \max 1_{i,j}\, d_{\perp}(P_i, P_j)$	Максимальное расстояние, перпендикулярное длине
Внешний угол острого конца	α	Алгоритм вычисления представлен в п. 3.3.3	Угол при вершине острого конца, образованный касательными к контуру яйца в двух точках, расположенных на заданном расстоянии от вершины.

Из полученных размеров были рассчитаны параметры, представленные в таблице 53.

Форма острого конца яйца может различаться у яиц, из которых вылупляются самцы и самки. Некоторые исследования показывают, что яйца с более заострённым концом (меньший угол α) чаще дают петушков. Угол α является интегральной характеристикой формы, не дублирующей другие признаки и является безразмерной величиной, что делает его независимым от размера яйца на изображении.

Современные методы компьютерного зрения позволяют надёжно вычислять угол при вершине контура.

Для классификации пола эмбриона по извлечённым геометрическим признакам и рассчитанным индексам формы разработана нейросетевая модель, архитектура которой представлена в таблице 54.

Входными параметрами сети служат 7 признаков, включая длину, ширину, площадь наибольшего продольного сечения яйца, площадь поперечного

сечения яйца в самом широком месте, внешний угол острого конца, индекс формы, объем яйца.

Таблица 53 - Производные параметры (индексы формы)

Параметр	Обозначение	Формула	Описание
Наибольшая площадь продольного сечения	S_{long}	$S_{long} = = \frac{(L_1 \cdot b \cdot \pi + L_2 \cdot b \cdot \pi)}{2}$	Сумма площадей двух полуэллипсов, усреднённая для учёта плавности перехода между ними
Площадь поперечного сечения	S_{trans}	$S_{trans} = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2$	Площадь круга диаметром D в месте максимальной ширины
Объем	V	$V = \frac{2}{3}\pi L_1 b^2 + \frac{2}{3}\pi L_2 b^2$	Объём аппроксимируется двумя несимметричными полуэллипсоидами
Индекс формы	I_{form}	$I_{form} = \frac{S_{trans}}{S_{long}} sin\alpha$	Отношение площади поперечного сечения яйца к площади продольного сечения яйца умноженная на sin(α)

где L_1 — расстояние от острого конца до центра масс; L_2 — расстояние от тупого конца до центра масс.

Выходной слой сети содержит один нейрон с сигмоидальной функцией активации, что позволяет получать вероятность принадлежности яйца к классу «курочка» (значение 1) или «петушок» (значение 0).

Для формализации преобразований, выполняемых сетью, необходимо дать математическое описание каждого слоя. Это позволит в дальнейшем реализовать алгоритм прямого распространения сигнала. Кроме того, явное математическое представление слоев является основой для вывода градиентов при обучении методом обратного распространения ошибки.

Таблица 54 – Архитектура нейронной сети

№	Тип слоя	Размер	Активация	Параметры	Назначение
0	Входной (Input)	7	—	0	Принимает 7 параметров формы яйца
1	Скрытый (Dense)	64	ReLU	7×64+64=512	Извлечение нелинейных зависимостей
2	Batch Normalization	64	—	64×4=256	Стабилизация и ускорение обучения
3	Dropout	0,3	—	0	Регуляризация (борьба с переобучением)
4	Скрытый (Dense)	32	ReLU	64×32+32=2080	Обобщение признаков
5	Скрытый (Dense)	16	ReLU	32×16+16=528	Подготовка к выходу
6	Выходной (Dense)	1	Сигмоида	16×1+1=17	Вероятность класса «самка»

Итого обучаемых параметров: 512 + 256 + 2080 + 528 + 17 = 3 393.

Ниже представлено последовательное математическое описание всех слоёв разработанной нейросетевой модели. Входной вектор признаков $x \in R^{8}$ содержит восемь геометрических параметров яйца, перечисленных в таблице 54 и таблице 55. Далее сигнал распространяется через три скрытых полносвязных слоя с использованием функций активации ReLU, а также слои пакетной

нормализации и регуляризации dropout. Завершает сеть выходной слой с сигмоидальной активацией, формирующий вероятность принадлежности к классу «курочка».

Математическое описание слоев.

Слой 1 (скрытый):

$$h_1 = ReLU(W_1 x + b_1), \quad (106)$$

где $x \in R^7$ — входной вектор, $W_1 \in R^{64\times7}$ – матрица весов первого скрытого слоя, $b_1 \in R^{64}$ – вектор смещений первого скрытого слоя. Функция активации ReLU (Rectified Linear Unit) определяется как $\mathrm{ReLU}(z) = \max(0, z)$ и применяется поэлементно. Выбор ReLU обусловлен ее способностью предотвращать проблему исчезающего градиента и обеспечивать разреженность активаций.

Слой 2 (Batch Normalization):

$$\widehat{h_1} = BN(h_1) = \gamma \odot \frac{h_1-\mu}{\sqrt{\sigma^2+\varepsilon}} + \beta, \quad (107)$$

где μ и σ^2 — среднее и дисперсия активаций в пределах текущего мини-батча; $\varepsilon = 10^{-5}$ — малая константа, обеспечивающая численную стабильность; $\gamma, \beta \in R^{64}$ — обучаемые параметры масштабирования и сдвига; $\odot$ обозначает поэлементное умножение (операция Адамара). Batch normalization позволяет стабилизировать распределение активаций, ускоряет сходимость и оказывает мягкое регуляризующее действие.

Слой 3 (Dropout):

$$\widetilde{h_1} = m \odot \widehat{h_1},\ \mathrm{m_i} \sim \mathrm{Bernoulli}(0{,}7), \quad (108)$$

где $m \in 0{,}1^{64}$ — случайная маска, каждый элемент которой независимо принимает значение 1 с вероятностью 0,7 и 0 с вероятностью 0,3; $\odot$ — поэлементное умножение. Выходные значения при $m_i = 0$ обнуляются, что эквивалентно временному «отключению» соответствующего нейрона. На этапе предсказания dropout отключается, и все нейроны работают с полными весами, масштабированными на коэффициент 0,7. Данный механизм предотвращает переобучение за счёт формирования избыточных представлений признаков.

Слой 4 (скрытый):

$$h_2 = ReLU\ (W_2\widetilde{h_1} + b_2), \tag{109}$$

где $W_2 \in R^{32\times64}$ – матрица весов второго скрытого слоя; $b_2 \in R^{32}$ — вектор смещений. На этом этапе происходит сжатие информации с 64 до 32 измерений, что способствует выделению наиболее значимых комбинаций признаков.

Слой 5 (скрытый):

$$h_3 = ReLU\ (W_3\widetilde{h_2} + b_3), \tag{110}$$

где $W_3 \in R^{16\times32}$ – матрица весов третьего скрытого слоя; $b_3 \in R^{16}$ — вектор смещений. Данный слой является последним скрытым слоем перед выходом и формирует компактное 16-мерное представление яйца, интегрирующее все значимые геометрические характеристики.

Слой 6 (выходной):

$$\hat{p} = \sigma(W_4h_3 + b_4) = \frac{1}{1+e^{-(W_4h_3+b_4)}}, \tag{111}$$

где $W_4 \in R^{1\times16}$ – вектор весов выходного слоя; $b_4 \in R$ — смещение; σ – сигмоидальная функция активации, преобразующая линейную комбинацию в интервал вероятностей 0,1. Выходное значение $\hat{p}$ интерпретируется как вероятность того, что цыпленок, вылупившийся из данного яйца, является курочкой.

Решающее правило:

$$\hat{y} = \begin{cases} 1(\text{курочка}),\ \hat{p} \geq 0{,}5 \\ 0\ (\text{петушок}),\ \hat{p} < 0{,}5 \end{cases}. \tag{112}$$

Задав архитектуру сети и математическое описание ее слоёв, перейдем к процедуре обучения. Обучение заключается в минимизации функции потерь, которая количественно оценивает расхождение между предсказаниями сети и истинными метками пола.

Функция потерь представлена выражением:

$$L = -\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left[y_i log(\widehat{p_i}) + (1-y_i)log(1-\widehat{p_i})\right], \tag{113}$$

где N — размер обучающей выборки; y_i — истинный пол (1 – курочка, 0 – петушок); $\widehat{p_i}$ — предсказанная сетью вероятность.

Параметры обучения приведены в таблице 55.

Таблица 55 - Параметры обучения

Параметр	Значение	Обоснование
Оптимизатор	Adam	Адаптивная скорость обучения
Скорость обучения	0,001	Стандартное значение для Adam
Batch size	32	Выбран экспериментально как компромисс между скоростью и стабильностью обучения
Эпохи	100-200	До сходимости функции потерь
L2-регуляризация	0,0001	Дополнительная борьба с переобучением

Разделение данных представлено в таблице 56.

Таблица 56 - Разделение данных

Выборка	Доля	Назначение
Обучающая (Train)	70%	Непосредственное обучение весов
Валидационная (Validation)	15%	Настройка гиперпараметров, ранняя остановка
Тестовая (Test)	15%	Финальная оценка качества на новых данных

После завершения обучения модель может быть использована для прогнозирования пола цыплят по параметрам и форме яйца с неизвестной принадлежностью. Ниже формализован алгоритм такого прогнозирования (рисунок 32). Функция прогноза представлена выражением (104).Для объективной оценки эффективности разработанной модели необходимо измерить ее точность на тестовой выборке, которая не использовалась ни на этапе обучения,

ни на этапе настройки гиперпараметров. В работе применяются следующие метрики качества бинарной классификации (таблица 57).

Таблица 57 - Метрики качества бинарной классификации

Метрика	Формула	Что оценивает
Accuracy	$\frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$	Общую долю правильных ответов
Precision	$\frac{TP}{TP + FP}$	Точность предсказания самок
Recall	$\frac{TP}{TP + FN}$	Полноту обнаружения самок
F1-score	$2 \cdot \frac{Precision \cdot Recall}{Precision + Recall}$	Гармоническое среднее точности и полноты
AUC-ROC	$\int_0^1 TPR(FPR), dFPR$	Способность различать классы

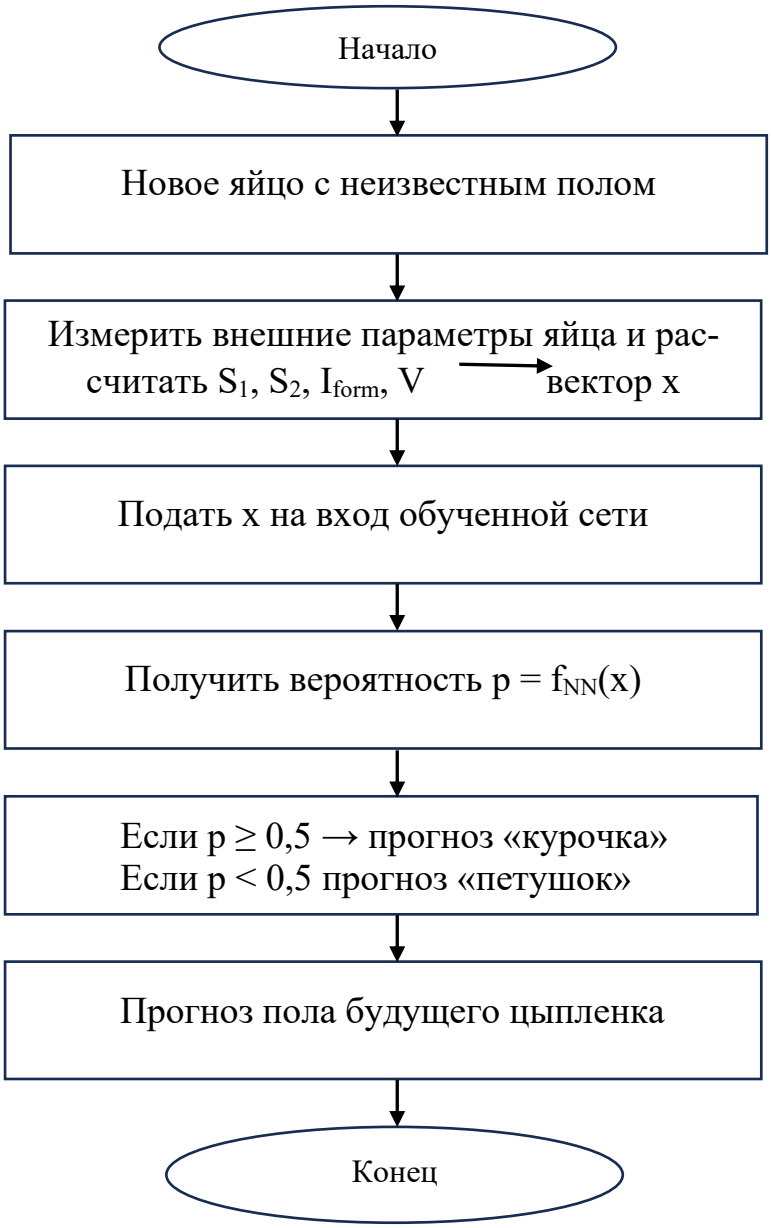


Рисунок 32 – Алгоритм работы модели прогноза пола будущего цыпленка

Механизмы предотвращения переобучения представлены в таблице 58.

Обобщая вышеизложенное, сведем основные характеристики разработанной нейросетевой модели в итоговую спецификацию, представленную в таблице 58.

Таблица 58 – Итоговые параметры нейронной сети

Параметр	Значение
Тип сети	Многослойный перцептрон (MLP)
Вход	8 параметров формы яйца
Выход	Бинарный (петушок/курочка)
Скрытых слоев	3 (64 → 32 → 16)
Всего параметров	3 393
Функция потерь	Бинарная кросс-энтропия
Оптимизатор	Adam
Batch size	32
Эпохи	100-200

Разработанная нейросетевая модель бинарной классификации обеспечивает прогнозирование пола цыплёнка по восьми геометрическим параметрам яйца с высокой обобщающей способностью за счёт встроенных механизмов регуляризации.

4.6.4 Результаты прогнозирования пола эмбрионов на основе нейросетевой модели

В соответствии с архитектурой нейросетевой модели, описанной в таблице 54 (пункт 4.6.3), и алгоритмом работы, представленном на рисунке 32, была проведена экспериментальная проверка качества классификации пола эмбрионов по геометрическим параметрам яйца.

Для тестирования использовалась выборка, не участвовавшая в обучении и настройке гиперпараметров (тестовая выборка, 15% от общего объёма данных). В ходе эксперимента для каждого яйца сеть вычисляла вероятность

принадлежности к классу «курочка» (женский пол) с последующим принятием решения по решающему правилу (112).

В таблице 59 представлены результаты тестирования обученной модели на 50 изображениях яиц с известным реальным полом эмбриона.

Таблица 59 — Результаты прогнозирования пола эмбриона

№	Название изображения	Предсказанный пол	Реальный пол	Совпадение
1	93810.png	Мужской	Мужской	Да
2	46048.png	Мужской	Мужской	Да
3	23434.png	Мужской	Мужской	Да
4	14165.png	Мужской	Мужской	Да
5	40495.png	Мужской	Мужской	Да
6	95181.png	Женский	Женский	Да
7	87236.png	Мужской	Женский	Нет
8	10851.png	Мужской	Мужской	Да
9	54597.png	Женский	Женский	Да
10	54118.png	Мужской	Мужской	Да
11	22676.png	Мужской	Женский	Нет
12	89131.png	Мужской	Женский	Нет
13	70217.png	Женский	Мужской	Нет
14	59615.png	Мужской	Мужской	Да
15	92397.png	Женский	Женский	Да
16	19116.png	Мужской	Мужской	Да
17	47930.png	Женский	Мужской	Нет
18	23238.png	Женский	Женский	Да
19	93320.png	Женский	Женский	Да

Продолжение таблицы 59

№	Название изображения	Предсказанный пол	Реальный пол	Совпадение
20	56566.png	Мужской	Мужской	Да
21	46047.png	Женский	Женский	Да
22	46044.png	Мужской	Мужской	Да
23	56555.png	Женский	Женский	Да
24	70218.png	Мужской	Мужской	Да
25	70200.png	Женский	Женский	Да
26	95180.png	Мужской	Мужской	Да
27	94100.png	Мужской	Мужской	Да
28	98178.png	Женский	Женский	Да
29	93322.png	Мужской	Мужской	Да
30	93330.png	Женский	Женский	Да
31	46040.png	Мужской	Мужской	Да
32	46038.png	Женский	Женский	Да
33	46035.png	Мужской	Мужской	Да
34	70120.png	Женский	Женский	Да
35	95175.png	Мужской	Мужской	Да
36	95620.png	Женский	Женский	Да
37	70455.png	Мужской	Мужской	Да
38	70466.png	Женский	Женский	Да
39	70566.png	Мужской	Мужской	Да
40	70444.png	Мужской	Мужской	Да
41	56550.png	Женский	Женский	Да
42	56410.png	Мужской	Мужской	Да

Окончание таблицы 59

№	Название изображения	Предсказанный пол	Реальный пол	Совпадение
43	56310.png	Женский	Женский	Да
44	56221.png	Мужской	Мужской	Да
45	56115.png	Женский	Мужской	Нет
46	70122.png	Мужской	Мужской	Да
47	92522.png	Женский	Женский	Да
48	92020.png	Мужской	Мужской	Да
49	92360.png	Женский	Женский	Да
50	92556.png	Мужской	Мужской	Да

По результатам тестирования на 50 образцах модель правильно определила пол в 44 случаях, что соответствует общей точности (accuracy):

$$Accuracy = \frac{44}{50} = 0{,}87 = 87{,}5\ \%.$$

Для более детальной оценки качества бинарной классификации были рассчитаны метрики, определённые в таблице 63. С учетом того, что целевым классом (положительным) выбраны «курочки» (женский пол), получены следующие значения:

Точность (Precision):

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} = \frac{18}{18+1} = \frac{18}{19} = 94{,}74\%.$$

Полнота (Recall):

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} = \frac{18}{18+8} = \frac{18}{23} = 0{,}7826 = 78{,}26\%.$$

F1-мера (F1-score):

$$F_1 = 2 \cdot \frac{\text{Precision}\cdot\text{Recall}}{Precision+\text{Recall}} = 2 \cdot \frac{0{,}9474\cdot 0{,}7826}{0{,}9474+0{,}7826} = 0{,}8572 = 85{,}72\%.$$

где *TP*=18 – верно предсказанные курочки (Женский → Женский), *TN*=26 – верно предсказанные петушки (Мужской → Мужской), *FP*=1 – ошибочно

предсказанные курочки (Женский, а реально Мужской), *FN*=5 – ошибочно предсказанные петушки (Мужской, а реально Женский).

Полученное значение Accuracy (87,5%) свидетельствует о том, что разработанная нейросетевая модель на основе восьми геометрических параметров яйца (таблицы 51 и 52) способна различать пол эмбриона с точностью, существенно превышающей случайное угадывание (50%). Однако неоптимальные значения Значение Precision (94,74%) указывает на очень высокую достоверность предсказания класса «курочка»: когда модель предсказывает самку, она ошибается лишь в 1 случае из 19. Значение Recall (78,26%) показывает, что модель обнаруживает более трёх четвертей всех реальных курочек (5 из 23 самок были ошибочно классифицированы как петушки). Значение F1-меры (85,72%) подтверждает хороший баланс между точностью и полнотой.

Основные причины ошибок, вероятно, связаны с:

1. Частичным перекрытием распределений геометрических признаков для эмбрионов разного пола, особенно для яиц с промежуточными значениями угла острого конца и индекса формы;

2. Высокой чувствительностью угла α (внешнего угла острого конца) и индекса формы I_{form} к небольшим погрешностям сегментации контура яйца;

3. Недостаточным объемом обучающей выборки для уверенного разделения классов при пограничных значениях признаков.

Тем не менее, достигнутая точность 87,5% является приемлемой для предварительной (скрининговой) селекции, позволяя отбраковать часть заведомо неподходящих яиц до инкубации, сокращая затраты на инкубирование петушков в яичных кроссах. Высокая точность (94,74%) означает, что выбраковка яиц, предсказанных как «курочки», будет минимально ошибочной.

В таблице 60 приведён итоговый отчёт о качестве классификации.

Таблица 60 — Сводные метрики качества модели

Метрика	Значение	Формула
Accuracy	87,50%	(TP + TN) / (TP + TN + FP + FN)
Precision (для самок)	94,74%	TP / (TP + FP)
Recall (для самок)	78,26%	TP / (TP + FN)
F1-score	85,72%	2 * (Precision * Recall) / (Precision + Recall)

Таким образом, разработанная нейросетевая модель (спецификация — таблица 54) может быть рекомендована для использования в качестве вспомогательного инструмента раннего неинвазивного определения пола эмбриона в промышленном птицеводстве при условии дальнейшего увеличения обучающей выборки и уточнения алгоритмов выделения контура яйца.

4.7 Выводы по главе 4

Проведённые экспериментальные исследования позволили установить, что современные кроссы яичных кур («Ломанн Браун Классик», «Браун Ник», «Корал», «Супер Ник») при соблюдении регламентированных параметров кормления, содержания и микроклимата реализуют генетический потенциал на высоком уровне, однако между группами выявлены устойчивые различия по росту, развитию, продуктивности и качеству яиц.

1. Созданная на предприятии система кормления и содержания обеспечивает полную реализацию наследственного потенциала продуктивности. Бункерная система хранения кормов вместимостью 21 ,26 м³ гарантирует 3-дневный запас комбикорма, а транспортёры с производительностью 2,6 т/ч – непрерывную подачу корма к клеточным батареям. Плотность посадки (350 см²/гол для молодняка и 600 см²/гол для взрослой птицы), фронт кормления

(11,4 см/гол) и фронт поения (5,3–8 голов на ниппель) соответствуют зоогигиеническим нормативам. Установлено, что разработанный температурно-влажностный режим (от +35…+36 °С в первые сутки до +18…+20 °С с 5-й недели при 60–70 % влажности) и световая программа (сокращение освещения с 24 ч (50 лк) до 9 ч (5 лк) к 9-й неделе) обеспечивают сохранность поголовья на уровне 96,1–97,4 % с максимумом у кроссов «Корал» и «Супер Ник» (97,3–97,4 %). Доказано, что светодиодные светильники ISP LED 3300-24-32 (IP65) являются энергоэффективным решением для внутриклеточного освещения.

2. Выявлены устойчивые межкроссовые различия по темпам постэмбрионального онтогенеза. Живая масса суточных цыплят варьирует в интервале 35,3–36,3 г без достоверных различий между группами. К 140-дневному возрасту формируется значительная дифференциация: максимальная живая масса зафиксирована у кросса «Ломанн Браун Классик» (1689,4 г), минимальная — у кросса «Супер Ник» (1439,2 г), разница достигает 17,4 % ($p \leq 0,001$). Среднесуточный прирост за период 0–140 дней составляет 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 достигает 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.

3. За полный продуктивный цикл (21–80 недель) яйценоскость на среднюю несушку варьирует от 356,6 шт (кросс «Супер Ник») до 368,5 шт (кросс «Корал»), что свидетельствует о полной реализации генетического потенциала. Средняя масса яйца имеет существенные межкроссовые различия: максимальное значение у кросса «Ломанн Браун Классик» (63,8 г), минимальное — у кросса «Корал» (59,7 г, $p \leq 0,01–0,001$). Индекс формы яйца у коричневых

кроссов достоверно выше, чем у белых, на 0,07–0,11 ($p \leq 0,05–0,01$), что указывает на более округлую форму яиц, имеющую технологическое значение. Морфологический состав яиц характеризуется относительной массой белка 58,2–58,8 %, желтка 27,3–28,6 %, скорлупы 13,2–14,1 %. Толщина скорлупы варьирует от 0,397 мм («Супер Ник») до 0,453 мм («Ломанн Браун Классик», $p \leq 0,001$), что определяет различную механическую прочность и бактериологическую защищённость яиц.

4. Установлено, 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 максимумом 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.

5. Доказано, что яйца оптимальной массы 55–70 г обладают достоверно более высокими инкубационными качествами: оплодотворенность достигает 93,9–94,6 %, выводимость — 91,7–92,8 %, тогда как у яиц массой до 55 г эти показатели составляют лишь 88,7 % и 85,2 % соответственно ($p \leq 0,001$). Живая масса суточных цыплят из мелких яиц равна 33,4 г, из яиц массой 55–70 г — 40,3–40,8 г ($p \leq 0,001$). 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.

6. Разработаны и валидированы две оригинальные нейросетевые архитектуры. Регрессионная модель прогнозирования яйценоскости по пяти экстерьерным промерам (многослойный перцептрон с 4 скрытыми слоями,

12161 обучаемый параметр, функции активации ReLU, регуляризация Dropout и Batch Normalization) позволяет осуществлять ранний отбор высокопродуктивных особей без длительного наблюдения. Бинарный классификатор определения пола эмбриона по восьми геометрическим параметрам яйца (3 скрытых слоя, 3457 параметров, выходная сигмоидальная активация) показал при тестировании на независимой выборке (n=20) общую точность 87,5 % (44 верных классификаций). Метрики качества для целевого класса «курочка» составили: Precision – 94,72%**,** Recall – 78,26%**,** F_1-score – 85,72 %**,** что достоверно превышает уровень случайного угадывания (50 %). Основными лимитирующими факторами точности являются ограниченный объем обучающей выборки и чувствительность угла α и индекса формы I_{form} к погрешностям сегментации контура.

ГЛАВА 5 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ, АНАЛИЗА И СОРТИРОВКИ ЯИЦ

5.1 Обоснование перспективных направлений совершенствования технологий оценки и сортировки яиц

Совершенствование технологии сортировки куриных яиц включает внедрение новых методов, использование современного оборудования и автоматизацию процесса. Цель — повысить эффективность производства, минимизировать человеческий фактор и обеспечить качество продукции. Многие птицефабрики по-прежнему производят сортировку яиц ручным способом что в свою очередь является не очень точным и затратным способом.

На сегодняшний день существует несколько методов сортировки яиц, заслуживающих внимания:

Оптический контроль качества. Использование камер и светодиодных систем позволяет выявлять дефекты скорлупы. Например, машины автоматически сканируют яйцо и определяют его прозрачность, выявляя скрытые трещины или посторонние включения. Как пример можно указать на инспекцию различных яиц с аномалиями при помощи ближнего инфракрасного света.

Детектор аномальных яиц представляет собой высокоточный алгоритм оценки методом распознавания образов (*) и значительно повышает точность проверки. Нет необходимости менять значения настроек для каждого вида яичной скорлупы, поскольку цвет яичной скорлупы определяется автоматически. Смешанные цвета яичной скорлупы и индивидуальные различия в оттенке не влияют на точность обнаружения. Кроме того, в дополнение к традиционному освещению видимым светом, использование ближнего инфракрасного света позволило с высокой точностью обнаруживать различные внутренние аномалии яйца.

Акустическая диагностика. Некоторые производители внедряют системы анализа звуковых волн, отражающихся от скорлупы. Этот метод позволяет точно определить наличие микротрещин и слабых мест в структуре, которые могут стать причиной скорой порчи продукта. Недавно разработанный «Метод анализа вибрации» является высокоточным методом обнаружения яиц с надсечкой. Традиционный «Метод анализа по акустической резонансной частоте» имел проблемы, связанные с влиянием шума и звуков устройства. Для проверки яиц с помощью детектора CEX не обязательно сильно бить по яичной скорлупе, чтобы издавать резонансные звуки. Он обеспечивает мягкое обнаружение, что является идеальной технологией для обнаружения треснувших яиц. Ударный шарик тактильного датчика слегка подпрыгивает на поверхности яичной скорлупы. CEX обнаруживает и распознает разницу по силе отскакивания. От целого яйца ударный шарик подпрыгивает несколько раз. От треснувшего яйца ударный шарик почти не подпрыгивает.

Детекция яиц по методу CEX не требует для проверки яиц сильного удара по яичной скорлупе. Нужно лишь слегка постучать по поверхности яичной скорлупы, что предотвращает повреждение яичной скорлупы. Кроме того, он обеспечивает высокоточное обнаружение путем постукивания по яйцу (по 20 ударов каждый).

Автоматическая дезинфекция и маркировка. Помимо сортировки, инновационные комплексы включают этапы мойки, дезинфекции и маркировки. Системы используют щадящие антисептические растворы, а маркировка наносится лазером или безопасными пищевыми чернилами.

Использование искусственного интеллекта и машинного зрения. Системы с обучаемыми нейросетями способны распознавать дефекты точнее и быстрее, чем классические алгоритмы. На сегодняшний день технологии с использованием систем машинного зрения является наиболее актуальной и требует совершенствования совместно с используемыми методами сортирования, основанными на обработке изображения исходного материала.

Оборудование для сортировки куриных яиц:

Автоматические сортировочные машины. Обеспечивают точную классификацию и упаковку яиц по весовым категориям. Оборудование объединяет взвешивание, маркировку, укладку в лотки и контроль целостности [327].

Машины для сортировки и автоматической упаковки яиц. Например, модель ZENYER 107, которая позволяет сортировать яйца по категориям, имеет электронную систему сенсоров и цветной сенсорный экран управления процессами [309].

Детекторы яиц. Обеспечивают высокую точность обнаружения треснувших, загрязнённых яиц, а также яиц с кровью и анормальностью. Например, детектор CEX предназначен для обнаружения микротрещин и повреждений скорлупы яиц, система DEX для определения загрязнений на поверхности скорлупы яиц.

Технологические производственные линии могут включать все эти устройства либо по отдельности в зависимости от потребности предприятия.

Однако существующие технологические решения имеют важное ограничение. Перечисленные методы эффективно обнаруживают внешние дефекты скорлупы, загрязнения, трещины и некоторые внутренние аномалии (кровяные включения и т.п.). Но они не предназначены для решения двух принципиально иных задач:

1. Автоматического определения морфологических параметров яйца на начальной стадии инкубации.

2. Раннего неинвазивного прогнозирования пола эмбриона до начала инкубации или на её ранних этапах.

Именно эти задачи остаются недостаточно изученными для промышленного применения. В настоящее время отсутствуют методы и способы автоматического определения морфологических параметров и сортировки куриных яиц по признаку пола эмбриона на начальной стадии зачатия.

Для создания технологических и технических решений комплексного анализа качественных параметров яиц требуется статистически обоснованная научно-исследовательская база знаний, полученная эмпирическим путём с

применением машинного зрения и камер, работающих в различных диапазонах светового спектра (включая видимый, ближний инфракрасный и, возможно, другие диапазоны).

5.2 Разработка концептуальной модели установки сортировки куриных яиц

Для проектирования концептуальной модели использовались данные помещения в производственном здании птицефабрики. Исходя из габаритных размеров разработана схема расположения оборудования производственной линии сортировки куриных яиц.

Габаритные размеры участка сушки, мойки, участка подачи лотков, и выпуска продукции получены с уже имеющегося оборудования, которое работает на предприятии. Размеры установки сепарации взяты, исходя из расчетных данных по компоновке компонентами этой установки.

На основе схемы расположения оборудования (рисунок 33) и расчетных данных определены следующие габаритные размеры спроектированной установки для анализа морфометрических параметров и сепарации яиц (таблица 61).

Для проектирования установки анализа морфометрических параметров и сепарации яиц, входящей в сортировочную производственную линию, необходимо выбрать аппаратно-программный комплекс, включающий систему получения изображений и модуль обработки данных.

Выбор системы получения трехмерных изображений.

Современное производство все чаще ориентируется на точность, повторяемость и стабильное качество операций. Именно поэтому системы технического зрения становятся ключевым элементом роботизированных комплексов и автоматизированных линий.

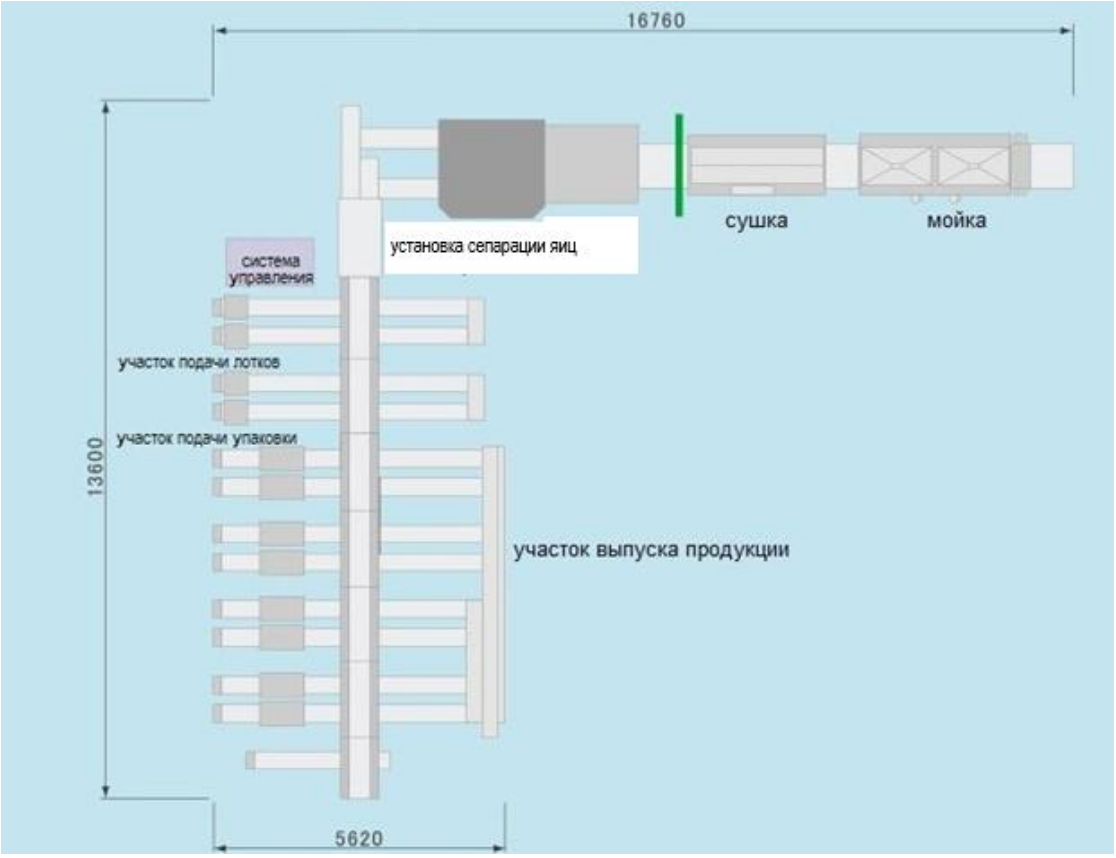


Рисунок 33 – Проект производственной линии сортировки яиц

Таблица 61 – Габаритные размеры установки

Параметр	Значение, мм
Длина установки (по конвейеру)	2000
Ширина установки	650
Высота (до верхней точки блока анализа)	850
Ширина конвейерной ленты	65
Расстояние между яйцами на транспортере	300
Длина зоны анализа	300

Для решаемой задачи – определения морфологических параметров куриных яиц и раннего прогнозирования пола эмбриона – требуется не просто двухмерное изображение, а точная трёхмерная модель каждого яйца, включая его геометрические параметры.

Современные компьютерные системы обрабатывают большие массивы изображений и данных, поступающих с камер и датчиков, установленных на роботе или в зоне контроля. Технологии технического зрения используют алгоритмы искусственного интеллекта и машинного обучения (AI/ML) для точной обработки данных. Система способна идентифицировать объекты, выполнять классификацию, выдавать решение (OK/NOK), координаты, класс, сигнал на исполнительные устройства, осуществлять мониторинг процессов и своевременно обнаруживать события.

Камеры машинного зрения и специализированные 3D-датчики в режиме реального времени формируют цифровое изображение, которое поступает в программный модуль для последующего анализа. Далее система осуществляет сканирование каждого изделия, сравнивает его с эталонной моделью или заранее установленными параметрами и передает сигнал роботу для корректной обработки и сортировки изделий.

Такой метод обеспечивает моментальное выявление дефектов – от микротрещин и сколов до смещений компонентов и некорректной маркировки — с возможностью немедленного устранения брака без ручной проверки.

С помощью технологии можно решить следующие задачи на производстве: выявление брака по отклонениям формы, контроль корректности установки элементов, автоматическая сортировка по заданным классам для последующей упаковки, существенно снижает влияние человеческого фактора.

Использование корректно подобранной камеры для установки обеспечивает высокий уровень точности даже при сложных условиях освещения. Это важно для высокоточных отраслей, где малейшие отклонения могут иметь серьезные последствия для качества и безопасности продукции.

Грамотно внедренная система технического зрения обеспечивает высокий уровень надежности процессов и ускоряет автоматизацию производства. Камера фиксирует мельчайшие отклонения, которые невозможно отследить визуально. Это повышает общее качество продукции и снижает процент брака.

Дополнительным преимуществом становится гибкость: одна камера при изменении алгоритмов может использоваться для разных задач. В итоге решение легко масштабируется и адаптируется под новые изделия без серьезных затрат на переналадку. Типа камер машинного зрения приведены в таблице 62.

Таблица 62 – Тип камер машинного зрения

Тип камеры	Принцип работы	Преимущества	Применение	Сенсор
Матричная (Area)	Захват полного изображения за один кадр	Высокое разрешение, универсальность	Контроль качества статичных объектов	CCD/CMOS
Линейная (Line Scan)	Построчное сканирование движущихся объектов	Высокая скорость, большая детализация	Проверка непрерывных материалов	CMOS
3D-камера (стерео камера)	Измерение глубины лазерной триангуляцией	Трехмерное измерение, анализ формы	Контроль геометрии деталей	ToF/Stereo
Смарт-камера	Встроенная обработка изображений	Автономность, простота интеграции	Простые задачи распознавания	CMOS
Тепловизионная	Регистрация инфракрасного излучения	Работа в темноте, температурный анализ	Контроль температурных режимов	Микроболометр

Матричные камеры используют двумерные сенсоры для захвата полного изображения за один кадр. Они могут оснащаться как CCD, так и CMOS-сенсорами. CCD-сенсоры обеспечивают высокую светочувствительность, лучшую цветопередачу и низкий уровень шумов, что делает их предпочтительными для задач, требующих высокого качества изображения. CMOS-сенсоры, в свою очередь, обладают более высокой скоростью работы и меньшим энергопотреблением.

Линейные камеры выполняют построчное сканирование движущихся объектов, что позволяет получать изображения очень высокого разрешения непрерывных материалов. Такие камеры особенно эффективны при контроле листовых материалов, тканей или непрерывных производственных процессов.

3D-камеры используют методы лазерной триангуляции или времени полета (ToF) для измерения трехмерной формы объектов. Это критично для контроля геометрии деталей, измерения объемов и проверки сборочных операций. Смарт-камеры представляют собой интегрированные устройства с встроенной обработкой изображений, что упрощает их интеграцию в производственные линии для решения стандартных задач контроля.

В качестве устройства получения трехмерных изображений (трехмерных облаков точек) выбраны стереокамеры глубины Intel RealSense D456. Данные камеры отличаются большим радиусом действия и позволяют получать плотную карту глубины в реальном времени. Их применение обеспечивает следующие преимущества для решаемой задачи:

- получение точной трёхмерной реконструкции поверхности яйца без механического контакта;
- работа в широком диапазоне расстояний, что позволяет интегрировать камеру в существующую конвейерную линию без жёстких требований к позиционированию яиц;
- устойчивость к изменению внешнего освещения, что важно для промышленных условий;
- возможность синхронизации с внешними триггерами (например, с

датчиком положения яйца на транспортере);

- компактность и низкое энергопотребление.

Для обработки входного изображения, поступающего со стереокамер, используется программируемая плата Raspberry Pi 5, которая оснащается:

- четырехъядерным процессором Broadcom BCM2712 Arm Cortex A76 с тактовой частотой 2,4 ГГц;
- оперативной памятью объёмом до 16 ГБ.

Raspberry Pi 5 выполняет следующие функции:

- прием и предварительную обработку потоков данных с камер Intel RealSense D456;
- реконструкцию трехмерной поверхности яйца;
- выделение морфометрических признаков (длина, ширина, индекс формы, объем);
- передачу результатов на стойку управления установкой для принятия решения о сортировке.

Такой выбор аппаратной платформы обеспечивает баланс между вычислительной производительностью, энергопотреблением и компактностью, что позволяет встраивать блок анализа непосредственно в производственную линию без использования громоздких промышленных компьютеров. Все вычисления выполняются локально, что исключает задержки, связанные с передачей данных на внешний ПК.

Обоснование применения трехмерного машинного зрения.

Системы технического зрения используют алгоритмы искусственного интеллекта и машинного обучения (AI/ML) для точной обработки данных [267]. Система способна идентифицировать объекты, выполнять классификацию, выдавать решение (OK/NOK), координаты, класс, сигнал на исполнительные устройства, осуществлять мониторинг процессов и своевременно обнаруживать события [185].

Камеры машинного зрения и специализированные 3D-датчики в режиме реального времени формируют цифровое изображение, которое поступает в

программный модуль для последующего анализа [310]. Далее система осуществляет сканирование каждого изделия, сравнивает его с эталонной моделью или заранее установленными параметрами и передаёт сигнал на исполнительные механизмы для корректной обработки и сортировки изделий [66].

Трёхмерный метод обеспечивает моментальное выявление дефектов – от микротрещин и сколов до отклонений формы и объёма – с возможностью немедленного устранения брака без ручной проверки [240]. С помощью технологии можно решить следующие задачи на производстве:

- выявление брака по отклонениям формы;
- контроль геометрических параметров;
- автоматическая сортировка по заданным классам для последующей инкубации или упаковки;
- существенное снижение влияния человеческого фактора [221].

Использование корректно подобранной камеры обеспечивает высокий уровень точности даже при сложных условиях освещения [276]. Грамотно внедрённая система технического зрения обеспечивает высокий уровень надёжности процессов и ускоряет автоматизацию производства [138].

В таблице 63 приведены типы освещения, используемые в системах машинного зрения [292].

В разрабатываемой установке основным источником «освещения» является встроенный инфракрасный проектор стереокамеры Intel RealSense D456 (для получения карты глубины). При необходимости для улучшения качества изображения и устранения теней может использоваться дополнительное рассеянное диффузное освещение в видимом или ИК-диапазоне.

Современные алгоритмы машинного зрения развиваются от классических методов обработки изображений к продвинутым решениям на базе искусственного интеллекта (таблица 63, 64). Для данной установки основными являются алгоритмы 3D-реконструкции (преобразование стереопар в карту глубины) и сверточные нейронные сети для классификации яиц по морфологическим параметрам и прогнозу пола эмбриона.

Современные системы машинного зрения работают на основе международных и российских стандартов [57].

Международные: GigE Vision V2.0 (лидирует с долей рынка более 50%), USB3 Vision, GenICam, Camera Link, CoaXPress [227].

Российские: ГОСТ Р 70652-2023 (системы технического зрения), ГОСТ Р 71738-2024 (ИИ в диагностике), ПНСТ 943-944-955-2024 (архитектура машинного обучения) [58, 157, 158].

Таблица 63 – Типы освещения для машинного зрения

Тип освещения	Характеристики	Преимущества	Недостатки	Применение
Диффузное	Равномерное рассеянное освещение	Устранение теней и бликов	Меньшая контрастность	Контроль поверхности, упаковки
Направленное	Концентрированный световой поток	Высокий контраст, подчеркивание текстуры	Образование теней	Выявление дефектов, трещин
Кольцевое	Равномерное освещение по кругу	Отсутствие теней от камеры	Ограниченная направленность	Осмотр круглых объектов
Боковое	Освещение под углом к поверхности	Выделение рельефа и неровностей	Неравномерность освещения	Контроль текстуры материалов
Импульсное	Кратковременные мощные вспышки	Заморозка движения, высокая яркость	Сложность синхронизации	Высокоскоростные конвейеры

Используемые в установке камеры Intel RealSense D456 подключаются через интерфейс USB 3.0, совместимый с протоколом USB3 Vision, что обеспечивает высокую скорость передачи данных и совместимость с широким спектром программного обеспечения.

Таблица 64 – Алгоритмы распознавания машинного зрения

Алгоритм	Технология	Точность	Скорость	Сложность настройки
Обнаружение краев	Классическая обработка изображений	Средняя	Высокая	Низкая
Сопоставление шаблонов	Корреляционный анализ	Высокая	Средняя	Средняя
Сверточные нейронные сети (CNN)	Глубокое обучение	Очень высокая (98-99%)	Средняя	Высокая
YOLO v8/v9	Детекция объектов в реальном времени	Очень высокая (95-98%)	Высокая	Высокая
Lp-Convolution (2025)	Имитация зрительной коры мозга	Превосходная (99%+)	Очень высокая	Очень высокая

Разработанная установка для анализа морфометрических параметров и сепарации яиц представлена на рисунке 34.

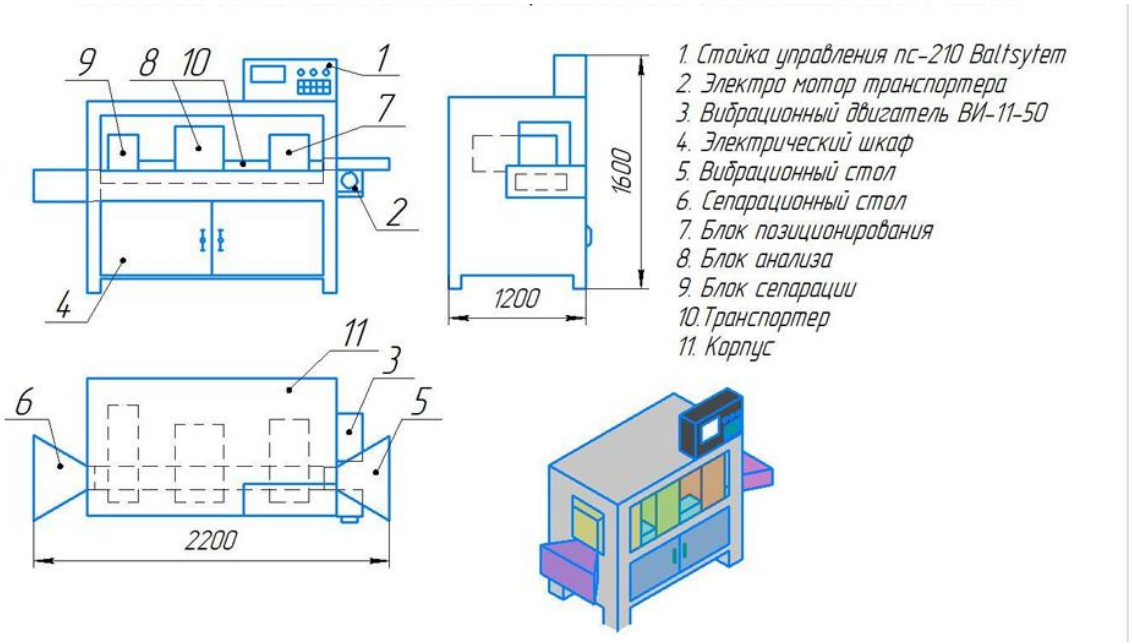


Рисунок 34 – Установка для анализа морфометрических параметров и сепарации яиц

Пояснение к работе установки для получения изображения яиц и сортировки их по пригодности к инкубации, и разделению с учетом результатов прогнозирования пола цыплят на ранней стадии развития эмбриона: 1. Стойка управления предназначена для согласования работы всех устройств и блоков установки, а также программирования режимов работы. 2. Электромотор транспортера (шаговый) предназначен для приведения в движение транспортера с различными скоростями. Необходим для настойки оптимальной работы установки. 3. Вибрационной двигатель устанавливается на вибрационный стол. Он необходим для перемещения яиц в блок позиционирования. 4. Электрически шкаф, в нем размещены все электрические компоненты, (реле, частотные преобразователи, защитные электронные компоненты, выключатели, контакторы, распределители). 5. Вибрационный стол необходим для предварительного размещения яиц перед сепарацией, обеспечивает автоматическое перемещение яиц в блок позиционирования. 6. Сепарационный стол служит местом куда распределяются сепарированные яйца. 7. Блок позиционирования является устройством, в котором яйцо автоматически устанавливается на транспортер в требуемое положение для просвечивания и анализа необходи-

мых характеристик. Конструкция блока изготовлена из пластин особой геометрической формы помогающие яйцу встать в нужное положение. С помощью струи воздуха яйцо помещается на транспортер без повреждений. 8. Блок анализа состоит из стереокамер глубины Intel RealSense D456 (обеспечивают 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 блоке происходит анализ яиц, отбор по пригодности к инкубации, распознавание пола эмбриона, после чего выдается сигнал на стойку управления о принятом решении. Анализ производится на основании обученной системы искусственного интеллекта. 9. Сепарационный блок состоит из механизма распределения. Он работает по сигналу от стойки управления установки и отделяет яйца пригодных к инкубации и с эмбрионами «курочка» и яиц с эмбрионами «петушок». 10. Транспортер предназначен для перемещения яиц между блоками установки до сепарационного стола. 11. Корпус изготовлен из нержавеющей стали и служит рамой для монтажа всех блоков и компонентов установки.

Таким образом, предложенная концептуальная модель установки 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.

5.3 Расчет конвейерной линии установки определения морфологических параметров и сортировки яиц

Для расчета конвейера установки определения морфологических параметров и сортировки яиц необходимо задастся начальными параметрами, которые сведены в (таблицу 65).

Таблица 65 – Исходные данные для расчета конвейерной линии установки сортировки яиц

Тип конвейера	Схема трассы	Геометрические параметры конвейера			Расстояние между яйцами на транспортёре, м.	Характеристика груза	
		L, м.	A, м.	$\alpha,^0$		Масса яйца, кг	Угол откоса β, град.
пластинчатый	а	2	0	0	0,3	0,05	0

Следует отметить, что предлагаемая установка на данном этапе проектирования рассматривается как экспериментальный (макетный) образец. Её целевое назначение — отработка алгоритмов машинного зрения для определения морфологических параметров и прогнозирования пола эмбриона, а также апробация технических решений в условиях, приближенных к промышленным. В связи с этим в расчётах заложены консервативные значения скорости транспортирования (0,02 м/с) и производительности (240 шт/час), которые ниже типичных показателей промышленных линий сортировки. Такой подход позволяет обеспечить устойчивую работу системы технического зрения, исключить динамические искажения при формировании трёхмерного облака точек и упростить настройку оборудования на начальных этапах исследований. В случае успешной апробации предполагается масштабирование предложенных решений на высокопроизводительное оборудование с соответствующим пересчётом параметров конвейера.

Исходя из габаритных характеристик яйца и производительности аппарата машинного зрения, выбираем скорость тягового элемента, вид настила и рассчитываем его ширину:

$$B_{НШ} = B_Г + (0{,}01...0{,}015)\ м, \qquad (114)$$

где $B_Г$ - ширина груза, м.

Скорость тягового элемента выбираем в зависимости от вида транспортируемого груза, настила и производительности аппарата машинного зрения.

Основные параметры и размеры формируются из следующих данных:

1. Время обработки изображения аппаратом машинного зрения (т), 15 секунд, данные получены исходя из стандартных характеристик аппарата машинного зрения.

2. Ширина настила $B_{НШ}$, равна 0,06 м. получена расчетным способом

3. Длина камеры распознавания яйца L, равна 0,3 м; данные получены из стандартных характеристик камеры распознавания.

Скорость тягового элемента v, м/с. рассчитывается по формуле:

$$v = \frac{L}{T}, \quad (115)$$

где $v = \frac{0,3}{15} = 0,02$ м/с.

Скорость тягового элемента и тип настила выбираем в зависимости от вида транспортируемого груза с учетом производительности. При небольших скоростях увеличиваются габариты конвейера, и его материалоемкость. С увеличением скорости габариты уменьшаются, но при этом возрастает энергоемкость. Поэтому следует выбирать рациональное соотношение между скоростью и типом настила.

Определяем, погонную массу штучного продукта $q_Г$, и настила q_H, кг/м, (приходящиеся на 1 м длины транспортера).

$$q_Г = m/l, \quad (116)$$

где m – масса груза, кг;

l – расстояние между грузами на настиле, м.

$$q_Г \frac{0,05}{0,3} = 0,16 \text{ кг / м.}$$

От настила

$$q_H = 30 \cdot B_{НШ} + A_H, \quad (117)$$

где $B_{НШ}$ – ширина настила, м;

$A_H = 4$ коэффициент, зависящий от параметров настила.

$$q_H = 30 \cdot 0,06 + 4 = 5,8 \text{ кг / м}$$

Разбиваем контур трассы конвейера на участки, по видам сопротивлений и проводим тяговый расчет, который сводится к определению величины натяжений в характерных точках трассы конвейера (рисунок 35).

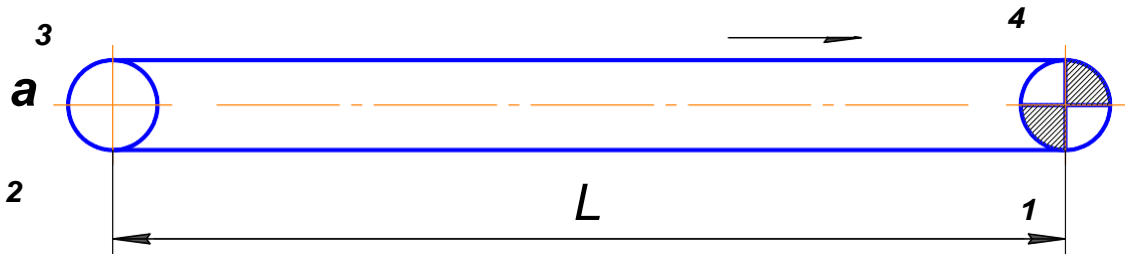


Рисунок 35 - Схема трассы пластинчатого конвейера

Расчет начинают с точки, с минимальным натяжением тягового элемента. В горизонтальных конвейерах она находится в точке сбегания цепи с приводной звездочки. При наличии наклонных участков, для нахождения точки с F_{min} необходимо предварительно определить силу сопротивления W_{1-2}, Н, на участке 1-2.

Участок 1 – 2.

Сила сопротивления W_{1-2}, Н, на прямом участке холостой ветви

$$W_{1\text{-}2} = g \cdot q_H \cdot L \cdot w, \qquad (118)$$

где g - ускорение свободного падения, м/с^2; q_H – погонная масса настила, кг/м; L – длина горизонтальной проекции участка транспортера, м; w – коэффициент, сопротивления тягового элемента, зависящий от типа транспортерной ленты.

$$W_{1\text{-}2} = 9{,}8 \cdot 5{,}8 \cdot 2 \cdot 0{,}01 = 1{,}31\ H. \qquad (119)$$

Сопротивление на участке 1-2 имеет положительный знак, следовательно:

$$F_1 < F_2, \qquad (120)$$

натяжение тягового элемента в точке два F_1, Н, будет меньше, чем в точке один F_2, следовательно, минимальным.

Минимальное натяжение ленты - (тягового элемента) принимаем равным F_{min}=0,5 кН.

Принимаем:

$$F_1 = F_{min}. \quad (121)$$

Тогда

$$F_2 = F_1 + W_{1\text{-}2}. \quad (122)$$

Подставив выражение (119) в (122), получим F_2=500 + 1,31=501,31H.

Участок 2-3.

Натяжение тягового элемента в точке три F_3, Н, с учетом сопротивления, возникающего на поворотном ролике.

$$F_3 = ę \cdot F_2, \quad (123)$$

где $ę = 1{,}04 - 1{,}07$ - обобщенный коэффициент сопротивления вращения ролика.

$$F_3 = 1{,}05 \cdot 501{,}31 = 526{,}37H.$$

Участок 3-4.

Натяжение тягового элемента в точке шесть F_4, Н, с учетом силы сопротивления $W_{3\text{-}4}$, Н, на прямолинейном горизонтальном участке рабочей ветви транспортёра:

$$F_4 = F_3 + W_{3\text{-}4}, \quad (124)$$

$$W_{3\text{-}4} = g \cdot (q_Г + q_H) \cdot L \cdot w, \quad (125)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с^2; $q_Г$ – погонная масса груза, кг/м; q_H – погонная масса настила, кг/м; w – коэффициент сопротивления, зависящий от типа цепи конвейера.

Подставив выражение (124) в выражение (125) получим:

$$F_4 = F_3 + g \cdot (q_Г + q_H) \cdot A \cdot w, \quad (126)$$

$$F_4 = 526{,}37 + 9{,}8 \cdot (0{,}16 + 5{,}8) \cdot 2 \cdot 0{,}01 = 527{,}53.$$

Максимальное натяжение ленты F_{max}, Н, будет в точке на бегание на приводной ролик, т. е. в точке восемь F_4, Н. С учетом динамической нагрузки, расчетная максимальная нагрузка для выбора ленты, определится следующим

образом:

$$F_{\max} = K_Д + F_4, \quad (127)$$

где $К_Д$ – коэффициент динамической нагрузки:

- при скорости ленты до 0,1 м/с, $К_Д$ =1;
- при скорости ленты от 0,1 - 0,3 м/с, $К_Д$ = 1,15;
- при скорости ленты свыше 0,3 м/с, $К_Д$ = 1,25.

$$F_{\max} = 1{,}15 \cdot 527{,}53 = 606{,}66 H.$$

Исходя из величины максимальной нагрузки, рассчитываем нагрузку, $F_{\max 1}$, Н, действующую на одну ленту.

$$F_{\max 1} = 1{,}15 \cdot (F_{\max} / 2), \quad (128)$$

$$F_{\max 1} = 1{,}15 \cdot 303{,}33 = 348{,}82 H.$$

Рассчитываем величину разрушающей нагрузки:

$$F_{РАЗ} = F_{\max 1} . n,$$

где n - коэффициент запаса прочности:

- для горизонтальных конвейеров не ответственного назначения n = 5 – 7;
- для конвейеров с наклонными участками трассы n = 8 – 10.

$$F_{РАЗ} = 348{,}82 \cdot 3 = 1046{,}48 H.$$

По величине $F_{РАЗ}$ нагрузки выбираем транспортерную ленту.

Величина тягового усилия F_0, Н, на приводном ролике:

$$F_0 = ę \cdot F_4 + F_1, \quad (129)$$

где $ę = 1{,}04 - 1{,}07$ обобщенный коэффициент сопротивления вращению роликов:

$$F_0 = 1{,}05 \cdot 527{,}53 + 500 = 1053{,}90 H.$$

Мощность электродвигателя N, кВт, для привода конвейера, при КПД привода $\eta_{ПР}$, составит:

$$N = \frac{F_0 \cdot v}{1000 \cdot \eta_{ПР}}, \quad (130)$$

где v – скорость тягового элемента, м/с.

$$N = \frac{1053,90 \cdot 0,02}{1000 \cdot 0,88} = 0,023 \text{ кВт.}$$

Определение необходимого угла обхвата конвейерной лентой приводного барабана Максимальное тяговое усилие на приводном барабане F_{max} (Н), которое способен передать приводной барабан без пробуксовки ленты, составляет:

$$F_{max} = 606,66 \text{ Н.}$$

Определим тяговый коэффициент $e^{\mu_0 \alpha}$ по формуле:

$$e^{\mu_0 \alpha} = \frac{F_{max} \cdot k_{сц} + 1}{F_1}, \quad (131)$$

где $k_{сц} = 1,3$ – коэффициент запаса сцепления, используемый для исключения пробуксовывания ленты при всех режимах работы конвейера.

Тяговый коэффициент равен: $e^{\mu_0 \alpha} = 1,579$.

Для легких условий работы в сухом помещении на футерованном резиной барабане коэффициент трения $\mu_0 = 0,5$ и необходимый угол обхвата α будет равен:

$$\alpha = \frac{\ln 1,579}{0,5} = 0,913 \text{ рад.} \quad (132)$$

Такой минимальный угол обхвата получаем на однобарабанном приводе.

Согласно закону Эйлера, условие отсутствия скольжения ленты по барабану $S_{нб}$ определяется следующим выражением:

$$F_4 \leq F_1 \cdot e^{\mu_0 \alpha},$$

$$527,53 \text{ Н} \leq 789,5 \text{ Н.}$$

Условие выполняется.

Далее необходимо определить параметры барабанов и роликовой батареи.

Определение параметров барабанов и роликовой батареи.

Исходя из [167], примем стандартный приводной барабан 6563Ф-100 с диаметром $D_{Б.П} = 67$ мм. Удельное давление ленты на барабан p (Н/мм^2) не должно превышать допустимое значение $[p]$:

$$p = \frac{360°(F_1+F_4)}{\pi\alpha°BD_{БП}}, \quad (133)$$

где $\alpha° = 180°$ – угол охвата барабана лентой; $[p] = 0{,}2…0{,}3$ МПа – допустимая величина давления ленты на поверхность барабана:

$$p = \frac{360° \cdot (500+527{,}53)}{3{,}14 \cdot 180° \cdot 65 \cdot 67} = 0{,}077 \text{ Мпа}.$$

Условие $p \leq [p]$ выполняется.

В случае невыполнения данного условия принимается в расчет увеличенный диаметр барабана.

Учитывая [167], примем стандартный не приводной барабан 6250–80 с диаметром $D_{Б.Н} = 65$ мм.

Примем стандартный отклоняющий барабан 65.40–50 с диметром $D_{Б.О} = 65$ мм для обратной (холостой, нижней) ветви.

Длину барабанов $L_Б$ определяем по рекомендациям при ширине ленты $B = 65$мм, $L_Б = 75$ мм.

На конвейере с желобчатыми ролик опорами переход ленты из наклонного положения в горизонтальное для рабочей (верхней) ветви выполняется на роликовой батарее из 6 ролик опор, при этом угол перегиба на каждой опоре составляет 3°. Расстояние между ролик опорами в роликовой батарее $l_{р.б}$ в 2…2,5 раза меньше постоянного шага роликовых опор верхней ветви: $l_{р.б} = 50$ мм. Роликовые опоры устанавливают по дуге окружности, радиус $R_{вып}$ которой при угле наклона боковых роликов $\alpha_р = 30°$ равен:

$$R_{вып} = 15 \cdot B = 15 \cdot 0{,}065 \approx 0{,}97 \text{ м}.$$

Выбор электродвигателя. Согласно техническому заданию необходимо плавно регулировать скорость транспортерной ленты с возможность полной остановки и плавного пуска для настройки всего сепарационного аппарата. Для таких случаях хорошо подходят шаговые двигатели. Для подбора двигателя необходимо знать момент на валу ведущего барабана и скорость вращения барабана

Номинальный момент определяется следующим образом:

$$M_{\text{НОМ}} = \frac{9550 \cdot N}{n_{\text{дв}}} = \frac{9550 \cdot 0{,}023\ \text{кВт}}{6{,}1\ \text{об/мин}} = 36\ \text{Н} \cdot \text{м}. \quad (134)$$

Согласно рассчитанных характеристик выбираем электродвигатель – гибридный биполярный шаговый двигатель с фланцем 130 мм (NEMA 51), длина 219 мм (hybrid stepper motor).

Основные характеристики установки выявления морфологических параметров и сортировки куриных яиц рассчитаны и сведены в (таблице 66).

Таблица 66 - Характеристики спроектированного установки выявления морфологических параметров куриных яиц

Техническая характеристика	Значение
Производительность, шт. час.	240
Скорость ленты, м/с	0,02
Ширина ленты, мм	65
Длина конвейера, м	2
Электродвигатель NEMA 51 с драйвером Момент удержания Нм. Частота вращения, об/мин Стойка управления NC210 BALT SISTEMS Энкондерные датчики E40H10-1024-3-T-24 Камера SSP-SWIR-500	 35 200
● Приводной барабан 6550Ф-65 ● частота вращения, об/мин ● диаметр, мм	 6,1 67
● длина, мм	65

5.4 Выводы по главе 5

Результаты анализа перспективных направлений совершенствования технологий сортировки куриных яиц, а также выполненные проектные и расчётные работы позволяют сформулировать следующие выводы:

1. 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.

2. 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.

3. Разработана концептуальная модель установки для анализа морфометрических параметров и сепарации яиц, 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).

4. Обоснован выбор аппаратно-программного комплекса машинного зрения: в качестве устройства получения трёхмерных 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.

5. Проведён расчёт конвейерной линии установки. Определены основные параметры: скорость тягового элемента 0,02 м/с, ширина настила 0,06 м, максимальное натяжение ленты 606,66 Н, мощность электродвигателя 0,023 кВт. Выбран шаговый электродвигатель NEMA 51 с моментом удержания 35 Н·м и частотой вращения 200 об/мин.

6. Разработанная установка на данном этапе представляет собой экспериментальный макетный образец. Консервативные значения скорости транспортирования (0,02 м/с) и производительности (240 шт/час) заложены для обеспечения устойчивой работы системы технического зрения, исключения динамических искажений при формировании трёхмерного облака точек и упрощения настройки оборудования на начальных этапах исследований.

7. 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 случае успешной апробации предполагается масштабирование предложенных решений на высокопроизводительное промышленное оборудование.

ГЛАВА 6 БИОЛОГИЧЕСКАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КУР РАЗНЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ГРУПП И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ СОРТИРОВКИ ЯИЦ

6.1 Биологическая эффективность использования кур яичных кроссов разных генетических групп

Биологическая эффективность использования сельскохозяйственной птицы — это комплекс показателей, отражающих способность птицы к длительному продуктивному использованию племенных ресурсов, поддержанию здоровья, адаптации к условиям содержания и реализации генетического потенциала. Она включает анализ и оценку продуктивности (яичной, мясной), репродуктивных качеств, конверсии корма, естественной резистентности, физиологического состояния и других хозяйственно-биологических признаков [8, 136, 308].

Основные аспекты биологической эффективности использования кур яичных кроссов:

- продуктивность. Определяется генетическим потенциалом птицы, направлением продуктивности, интенсивностью метаболизма питательных веществ и скоростью биосинтеза белка. Уровень продуктивности предопределяет порода, кросс, возраст, пол, условия содержания и кормления [11, 220, 309].

- конверсия корма. Характеризует соотношение количества корма, затраченного на производство единицы продукции (на 1 кг прироста живой массы, 10 штук яиц, 1 кг яичной массы), и эффективности его использования [283, 308].

- естественная резистентность. Способность организма противостоять неблагоприятным факторам внешней среды влияет на сохранность молодняка и взрослой птицы. Включает работу иммунной системы, уровень которой предопределяется индивидуальными особенностями и наследственностью, пищевой и биологической полноценностью питания [283].

- генетические особенности. Селекция направлена на создание высокопродуктивных линий и кроссов, способных максимально реализовать свой биологический потенциал в условиях промышленной технологии [220].

- условия содержания. Микроклимат (режимы температуры, влажности и освещенности), плотность посадки, система поения, состав воздуха и ряд других факторов влияют на физиологическое состояние птицы, её продуктивные и репродуктивные показатели [220].

В наших исследованиях при оценке биологической эффективности использования анализируемых генетических групп (кроссов) кур-несушек родительского стада мы использовали комплексный подход, включающий в себя в сравнительном аспекте исследования степени наследования продуктивных качеств и адаптационных способностей, уровня конверсии корма, резистентность организма (сохранность поголовья) в идентичных условиях содержания и кормления.

На основе анализа происхождения (племенной ценности), собственной продуктивности, результатов племенного, производственного использования и передающей способности биологических признаков потомству нами разработана формула (135) (Батанов С.Д., Баранова И.А.) по определению индекса биологической ценности сельскохозяйственной птицы.

Индекс биологической ценности кур (ИБЦ):

$$\text{ИБЦ} = \frac{\left(\left(\frac{К_{п.}}{к_0}\right)\cdot В_м \cdot П\right)}{100Т}, \qquad (135)$$

где ИБЦ - индекс биологической ценности кур; $К_п$ - количество яиц пригодных к инкубации, шт; $К_0$ - количество снесенных яиц за продуктивный период, шт $В_м$- вывод молодняка, %; П - индекс качества потомства, ед; Т - 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($К_п$, 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 величины воздушной камеры.

Количество снесенных яиц за продуктивный период ($К_0$, штук) было определено путем ежедневного сбора и учета яйценоскости (суммарное количество полученных яиц) кур по генетическим группам (кроссам):

$$K_0^{(j)} = \sum_{i=1}^{n} Q_i^{(j)}, \quad (136)$$

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 ($В_м$, %) определяли:

$$В_м = \frac{К_ц}{К_я} \cdot 100\%, \quad (137)$$

где $В_м$ – вывод молодняка, %; Кц — количество полученных кондиционных суточных цыплят, голов; $К_я$ – количество яиц, заложенных в инкубатор, штук.

Индекс качества потомства П:

$$П = \left(С \cdot И_я \cdot \frac{М_я}{К_1}\right)/10000, \quad (138)$$

где С - сохранность птицы от рождения до завершения продуктивного периода, %; $И_я$ - интенсивность яйценоскости кур, %; $М_я$ - яичная масса, кг; $К_1$ - затраты корма на 1 кг яичной массы, кг.

Сохранность птицы от рождения до завершения продуктивного периода (С, %) 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:

$$C = \frac{К_к}{К_н} \cdot 100\%, \quad (139)$$

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

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

$$И_я = \frac{К_я}{К_{корм}} \cdot 100\%, \quad (140)$$

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

Яичная масса ($М_я$, 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:

$$М_я = \bar{m} \cdot K_0, \quad (141)$$

где $М_я$ — яичная масса за продуктивный период, кг; $\bar{m}$ — средняя масса одного яйца за продуктивный период (по данным еженедельных взвешиваний), кг; $К_0$ — количество снесенных яиц за продуктивный период, штук.

Затраты корма на 1 кг яичной массы ($К_1$, 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:

$$К_1 = \frac{С_{корм}}{М_я}, \quad (142)$$

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

В наших исследованиях определены параметры биологической эффективности использования сельскохозяйственной птицы на основе оценки пожизненной продуктивности, показателей качества инкубационных яиц и уровня реализации генетического потенциала потомством.

Результаты оценки биологической эффективности использования кур родительского стада изучаемых генетических групп приведены в таблице 67.

Анализ таблицы 67 показал, что генетический фактор оказал определенное влияние на уровень биологической эффективности использования кур разных кроссов.

Таблица 67 – Биологическая эффективность использования кур родительского стада разных генетических групп

Показатель	Группа/Кроссы			
	1	2	3	4
	«Ломанн 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 90,5	 371 88,3	 389 92,6	 347 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

Высокий уровень качества инкубационных яиц (92,4 % пригодных к инкубации) установлен у птицы родительского стада белых кроссов («Корал», «Супер Ник»), что выше чем у кур коричневых кроссов на 3,4% («Ломанн Браун Классик») и 2,0% («Браун Ник»), соответственно. Такая же тенденция отмечена и по показателю «вывод цыплят». При этом следует отметить высокий уровень сохранности птицы от рождения до завершения продуктивного периода у генетических групп «Ломанн Браун Классик» (96,3%) и «Корал» (95,4%).

При анализе яичной продуктивности кур-несушек финального гибрида (промышленного стада) с учетом их генетической принадлежности установлена высокая интенсивность яйценоскости в группе «Корал» (92,6% им) и «Ломанн Браун Классик» (90,5%) при самом низком значении анализируемого показателя в группе «Супер Ник» - 82,6%.

При комплексной оценке основных хозяйственно-биологических признаков кур, имеющих разное генетическое происхождение нами был рассчитан «индекс качества потомства». Самый высокий уровень этого показателя выявлен в генетической группе «Корал» (11,48), что превосходит показатель в группе «Супер Ник» (7,72) на 48,7%, «Браун Ник» (9,44) 21,6%, а «Ломанн Браун Классик» (10,47) на 9,6%, соответственно.

Одними из наиболее значимых коэффициентов, определяющих эффективность использования сельскохозяйственной птицы с точки зрения реализации ее биологического потенциала продуктивных и репродуктивных качеств, которая в свою очередь определяется уровнем качества инкубационного яйца и полученного потомства, адаптационными способностями птицы, являются коэффициент (индекс) биологической ценности кур. Высоким уровнем эффективности реализации генетического потенциала характеризуются куры кросса «Корал» (11,61), что существенно превосходит (ИБЦ выше на 57,5%) в группе кур с белым оперением кросс «Супер Ник» (7,72). В группах кур с коричневым оперением более высокое значение ИБЦ имели куры кросса «Ломанн Браун Классик» - 9,71.

Таким образом, биологическая эффективность (ценность) — это комплекс хозяйственных признаков, находящихся в непосредственной зависимости от генетических, физиологических, экологических и технологических факторов. Повышение биологической ценности возможно через селекцию, оптимизацию кормления, создание благоприятных условий содержания и мониторинг состояния животных с использованием инновационных технологических решений.

6.2 Экономическая оценка использования кур яичных кроссов разных генетических групп

Эффективное развитие птицеводства в первую очередь зависит от грамотного выращивания ремонтного молодняка и оптимального содержания взрослого поголовья птицы, что предопределяет обеспечение дальнейшего роста производства высококачественных пищевых и инкубационных яиц. Соответственно, предприятия, специализирующиеся на производстве как инкубационных, так и пищевых яиц, как правило ориентированы на то, чтобы наряду с наращиванием объёмов производства продукции птицеводства, обеспечить максимальное увеличения генетически заложенного продуктивного и репродуктивного потенциала птицы и улучшения качества продукции, снижения затрат труда, расхода кормов и в итоге себестоимости яиц [26, 27].

Экономическая оценка дает возможность правильно регулировать рыночную стоимость продукции, повышать рентабельность предприятия. Грамотное урегулирование ценовой политики ведет не только к повышению спроса, а также к повышению конкурентоспособности. Изучение расчета потребностей для производства продукции, выявление эффективности производства позволяет планировать, опережать и избегать негативных воздействий влияния мирового рынка.

В диссертационной работе калькулированы себестоимость производства яиц и выращивания ремонтного молодняка используя методические рекомендации [127].

1. Общая структура себестоимости 10 штук яиц

Интегральный показатель — удельные приведённые затраты на 10 яиц определённого категорийного класса (пищевое, инкубационное):

$$C_{10}^{\text{кл}} = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(Z_i \cdot k_i^{\text{техн}} \cdot k_i^{\text{зоо}}\right) - \text{В}_{\text{поб}}}{N_{\text{кл}}} \times 10, \qquad (143)$$

где Z_i — прямые затраты по i-й статье; $k_i^{техн}$ — технологический поправочный коэффициент (для сортировки — собственный); $k_i^{зоо}$ — зоотехнический коэффициент, учитывающий кросс и возраст несушки; $В_{поб}$ — стоимость побочной продукции (помет); n – количество статей; $N_{кл}$ — количество яиц данной категории за период.

2. Детализация себестоимости по статьям затрат

2.1. Корма (основная статья)

Вместо типового «норма × цена» предложена адаптивная кормовая функция с учётом живой массы, яйценоскости и интенсивности роста молодняка:

$$К_{корма} = \sum_{j=1}^{m} \left(\frac{Н_j^{баз} \cdot \left(1+\alpha \cdot (М_ж - М_ж^{норм})\right) \cdot \left(1+\beta \cdot (Я_ф - Я_{пл})\right)}{100} \times Ц_j \right), \quad (144)$$

где $Н_j^{баз}$ – базовая норма потребления j-го корма (кг на 10 штук яиц, кг прироста живой массы); $М_ж$ – средняя живая масса несушки (ремонтного молодняка), кг; $М_ж^{норм}$ – нормативная масса для кросса; α – коэффициент чувствительности расхода корма к массе (0,02–0,05); $Я_ф$, $Я_{пл}$ – фактическая и плановая яйценоскость на среднюю несушку (прирост живой массы ремонтного молодняка); m - виды кормов; β – коэффициент обратной связи (обычно -0,01…-0,03, чем выше яйценоскость, тем ниже расход корма на яйцо; чем выше интенсивность роста, тем ниже расход корма на 1 кг прироста живой массы).

2.2. Оплата труда с отчислениями

Разделены на основную и премиальную части с коэффициентом сложности выполнения технологических операций (включая сортировку яиц, взвешивание кур-несушек и ремонтного молодняка):

$$ОТ = \sum_{p=1}^{r} \left(Т_р \cdot ЧТС_р \cdot (1 + \sigma_р) \cdot (1 + \gamma_р^{сорт}) \right) \cdot 1{,}308, \quad (145)$$

где $Т_p$ – норма времени на операцию p (чел.-час на 10 штук яиц; на 1 кг прирост живой массы); $ЧТС_р$ – часовая тарифная ставка; $\sigma_р$ – коэффициент премирова-

ния за перевыполнение норм; $\gamma_р^{сорт}$ – индивидуальный коэффициент за качество сортировки (предложен ниже); r – количество операций; 1,308 – коэффициент страховых взносов (30,8%, согласно ОКВЭД 01.47.2).

2.3. Электроэнергия (в том числе на сортировочной линии)

Для линии сортировки вводим удельный энергопотребляющий коэффициент в зависимости от скорости движения яйца и количества измерительных датчиков:

$$Э = \frac{\sum_{t=1}^{T}(P_t \cdot \tau_t)}{N} k_{загр} \cdot Ц_{эл}, \quad (146)$$

где, P_t – мощность t-го агрегата сортировщика (кВт); τ_t – время работы в периоде, ч; N – количество яиц, прошедших сортировку (тыс. шт.); $k_{загр}$ – коэффициент загрузки линии (0,6–0,9); T – количество агрегатов; $Ц_{эл}$ – тариф на электроэнергию.

2.4. Амортизация оборудования (включая сортировочное и вспомогательное)

Для каждого типа оборудования (клеточные батареи, транспортеры, овоскопы, весы) рассчитывается ускоренная амортизация с учётом интенсивности использования:

$$А = \frac{\sum_{q=1}^{Q}(C_q \cdot Н_{ам} \cdot К_{инт}^q)}{N_{год}} \cdot 10, \quad (147)$$

где, C_q – первоначальная стоимость q-й единицы; $Н_{ам}$ – норма амортизации (%, например, 10%); $К_{инт}^q$ – коэффициент интенсивности; $N_{год}$ – годовой объём сортировки (тыс. яиц).

3. Блок «Сортировка яиц»

Это ключевая часть. Традиционно затраты на сортировку распределяют на весь объем производства. Рассматривается дифференцированный подход на основе трёх групп - «отборное яйцо» (ГОСТ Р 52121–2003), «мелкое», «бой», «кровяное пятно» и другие идентифицируемые дефекты.

3.1. Классификация и операционные затраты на единицу

Введём функцию затрат на сортировку одного яйца в зависимости от его физических параметров:

$$Z_{\text{сорт}}^{1\ \text{яйцо}} = F(m, \rho, \tau_{\text{тр}}, \lambda_{\text{пятно}}), \quad (148)$$

где m - масса яйца, г; ρ - плотность (связана с толщиной скорлупы); $\tau_{\text{тр}}$ - время транспортировки от птичника до цеха сортировки яиц; $\lambda_{\text{пятно}}$ - бинарный признак наличия кровяного включения (дефекта) (0 или 1).

Разработана эмпирическая формула (выведена на основе хронометража работы линии, используемой на предприятии как «базовый вариант»):

$$Z_{\text{сорт}}^{1\ \text{яйцо}} = 0{,}0028 \cdot m^{0{,}67} \cdot e^{0{,}15 \cdot \lambda_{\text{пятно}}} + 0{,}0004 \cdot \tau_{\text{тр}}, \quad (149)$$

где $m^{0,67}$учитывает, что время захвата и взвешивания пропорционально поверхности; $e^{0,15 \cdot \lambda_{\text{пятно}}}$ – дополнительные затраты на сброс и дезинфекцию датчика при браковке; линейный член по $\tau_{\text{тр}}$ – потери на холостом ходу.

3.2. Суммарные затраты на сортировку за период

$$Z_{\text{сорт}}^{\text{общ}} = \sum_{i=1}^{N_{\text{общ}}} Z_{\text{сорт}}^{1\ \text{яйцо}}(m_i, \tau_i, \lambda_i) + Z_{\text{обсл}} + Z_{\text{накл}}, \quad (150)$$

где $Z_{\text{обсл}}$ - затраты на техническое обслуживание сортировщика (замена ламп, калибровка весов); $Z_{\text{накл}}$ - общепроизводственные расходы (уборка, дезинфекция зоны сортировки).

3.3. Распределение затрат по категориям яиц (принцип драйвера затрат)

Для распределения операционных затрат между различными категориями яиц применяется подход на основе драйверов затрат. Соответствующие весовые коэффициенты ($\delta_{\text{кат}}$), отражающие относительную трудоёмкость обработки каждой категории, приведены в таблице 68.

Коэффициент 1,4 для категории «Бой (трещина, дефект)» обоснован тем, что обработка такого яйца требует дополнительных операций и повышенных затрат по сравнению с отборным яйцом без повреждений. Как показывает практика, трещины в яичной скорлупе обнаруживаются с помощью овоскопирования или с использованием технологий машинного зрения.

Таблица 68 - Весовые коэффициенты для каждой категории

Категория	Коэффициент δкат	Обоснование
Отборное (С0, С1)	1,0	Базовая сортировка
Мелкое (С2, С3)	0,85	Меньше времени на взвешивание? наоборот, сложнее отделить – оставим 1,0
Бой (трещина, дефект)	1,4	Дополнительная операция сброса и очистки
Кровяное пятно	2,0	Специальный сигнал, остановка конвейера, промывка

При использовании автоматической камеры алгоритм распознавания требует более высокой чувствительности, что увеличивает нагрузку на вычислительную систему и время обработки сигнала, а бракованное яйцо не упаковывается, а отправляется в отдельный лоток или бункер для утилизации. Для такой отбраковки используется пневматический толкатель или механическое отклоняющее устройство, что увеличивает энергозатраты и износ механизмов. Когда скорлупа уже треснула, содержимое яйца может вытечь наружу, что приведет к загрязнению конвейерных лент, роликов, весов и другого оборудования. Приходится останавливать линию, проводить дополнительные циклы мойки и дезинфекции, что увеличивает стоимость переработки отходов. На некоторых линиях яйца с трещинами не выбрасывают сразу, а пускают на вскрытие и отделение скорлупы для получения меланжа. Это добавляет ручной труд или дополнительные механические операции, которые чаще всего не продаются как пищевое яйцо, а используются для кормления животных или утилизации, что также имеет свои издержки (логистика, переработка, соблюдение ветеринарных правил).

Таким образом, коэффициент 1,4 означает, что стоимость переработки одного бойного яйца на 40% выше, чем стоимость переработки отборного цель-

ного яйца. Для категории "Кровяное пятно" коэффициент выше (2,0), поскольку это требует остановки конвейера для промывки и калибровки чувствительных датчиков (оптические датчики загрязняются и выдают ложные сигналы тревоги). Мелкое яйцо (0,85 г) требует немного меньше времени на взвешивание и упаковку, поэтому за основу можно взять 0,85.

При этом затраты на сортировку 1000 яиц категории К составят:

$$Z_{\text{сорт}}^{1000,K} = \frac{\delta_K \cdot N_K}{\sum K(\delta_K \cdot N_K)} \cdot Z_{\text{сорт}}^{\text{общ}} \cdot 1000/N_K, \quad (151)$$

Выражение (151) пересчитывает общие затраты пропорционально весовому вкладу категории с последующим приведением к 1000 штук.

В таблице 69 представлены результаты расчета экономической эффективности выращивания молодняка кур разных кроссов.

Таблица 69 – Экономическая эффективность выращивания молодняка кур разных генетических групп

Показатель	Группа/Кроссы			
	1	2	3	4
	«Ломанн Браун Классик»	«Браун Ник»	«Корал»	«Супер Ник»
Средняя живая масса суточных цыплят, г	36,3	36,1	35,3	35,8
Средняя живая масса молодняка в возрасте 91 день, г (13 недель)	1148,4	1124,7	1078,3	975,2
Среднесуточный прирост живой массы, г	12,22	11,96	11,46	10,32
Расход корма, кг/гол, всего в том числе на 1 кг прироста живой массы	4,66 4,06	4,82 4,29	4,46 4,14	3,85 3,95
Стоимость 1 кг комбикорма, руб.	21,75			
Затраты на выращивание 1 головы, руб. всего, в том числе затраты на корма	 172,51 101,36	 167,78 104,84	 163,54 97,01	 159,22 83,74
Экономический эффект, руб.	-	4,73	8,97	13,29
Цена реализации 1 гол, руб.	244,00			
Прибыль от реализации 1 гол, руб.	71,49	76,22	80,46	84,78
Рентабельность, %	41,4	45,4	49,2	53,1

Результатами исследований установлено, что средняя живая масса молодняка в суточном возрасте имеет определенную предрасположенность в зависимости от генетического происхождения. Молодняк кроссов «Ломанн Браун Классик» и «Браун Ник» отличались большей живой массой и в возрасте

13 недели (91 день) данные ремонтные молодки имели закономерно большую массу тела – 1148,4 г и 1124,7 г, соответственно. Закономерным является и более высокий среднесуточный прирост данных молодок – 12,22 г и 11,96 г, что свидетельствует о более высокой интенсивности роста молодняка кур с коричневым оперением по сравнению с молодняком с белым оперением («Корал», «Супер Ник»), которые имели среднесуточные приросты за учетный период 11,46 г и 10,32 г, соответственно.

Расход корма на 1 голову в генетической группе молодняка кроссов «Ломанн Брау Классик» и «Браун Ник» имел максимальное значение и было выше по сравнению со сверстницами кросса «Корал» – на 0,48 кг/гол и 0,32 кг/гол, «Супер Ник» – на 0,2кг/гол и 0,36 кг/гол. Для молодняка кроссов «Корал» и «Супер Ник» свойственно высокий уровень конверсии корма. При этом в этих группах выявлен минимальный расход кормов на 1 кг прироста живой массы, что составил 4,46 кг/гол и 3,85 кг/гол, соответственно.

Таким образом экономический эффект от выращивания групп молодняка кур по сравнению с группой «Ломанн Браун Классик» составил: «Браун Ник» – 4,73 руб., «Корал» – 8,97 руб., «Супер Ник» – 13,29 руб. При цене реализации 1 головы 244 рублей прибыль от реализации молодняка кур в группах составил: «Ломанн Браун Классик» - 71,49 руб., «Браун Ник» - 76,22 руб., «Корал» - 80,46 руб., «Супер Ник» - 84,78 руб. Максимально высокий уровень рентабельности выращивания в группе молодняка кросса «Супер Ник» – 53,2%, что выше, чем в группе «Корал» – на 3,9%, «Браун Ник» – 7,7%, «Ломанн Браун Классик» – 11,7%.

В таблице 70 представлена экономическая оценка эффективности содержания кур-несушек и производства яиц.

При анализе таблицы 70 установлено, что куры кросса «Корал» имели максимальную яйценоскость на начальную несушку (353,8 шт.) и среднюю несушку (368,5 шт.) имеют относительно низкий расход корма на 1 голову по сравнению со сверстницами - 47,73 кг и на 10 штук яиц – 1,35 кг, что ниже чем у кур в группах «Ломанн Браун Классик» (на 4,3 %), «Браун Ник» (на 6,9 %) и

«Супер Ник» (8,2 %). При в группе кур кросса «Корал» выявлена закономерно минимальная себестоимость 10 шт. яиц – 50,02 руб. При средней цене реализации 10 штук яиц 74,00 рублей прибыль составит в группе данного кросса – 23,98 рубля, что выше кур кросса «Ломанн Браун Классик» – на 2,15 руб., кросса «Браун Ник» – на 1,53 руб., кросса «Супер Ник» – 0,93 руб.

Таблица 70 – Экономическая эффективность содержания кур-несушек разных генетических групп

Показатель	Группа/Кроссы			
	1	2	3	4
	«Ломанн Браун Классик»	«Браун Ник»	«Корал»	«Супер Ник»
Яйценоскость на среднюю несушку, шт.	360,6	363,8	368,5	356,6
Яйценоскость на начальную несушку, шт.	346,2	334,7	353,8	320,9
Интенсивность яйценоскости, %	85,9	86,6	87,7	84,9
Расход корма за период опыта на начальное поголовье всего, кг в том числе на 10 шт. яиц	48,79 1,41	48,65 1,45	47,73 1,35	47,18 1,47
Стоимость 1 кг комбикорма, руб.	17,55			
Производственные затраты, руб. всего в том числе на корма	1881,25 856,26	1875,38 853,81	1843,24 837,66	1816,88 828,01
Себестоимость 10 шт. яиц, руб.	52,17	51,55	50,02	50,95
Цена реализации 10 шт. яиц, руб.	74,00			
Прибыль, руб.	21,83	22,45	23,98	23,05
Уровень рентабельности, %	41,8	43,5	47,9	45,2

Максимально высокий уровень рентабельности производства яиц выявлен в группе кур кросса «Корал» – 47,9%. При этом рентабельность в группах кросса «Ломанн Браун Классик» - 41,8%, «Браун Ник» – 43,5% и «Супер Ник» – 45,2%.

Таким образом, промышленное птицеводство, в том числе производство яиц основано на использовании лучшей «генетики», обладающей высокими адаптационными способностями. При этом важнейшей задачей промышленных предприятий, специализирующихся на производстве яиц, состоит в том,

чтобы наряду с наращиванием объёмов производства, обеспечивать повышения продуктивного и репродуктивного потенциала птицы используя инновационные приемы в селекции, улучшения качества продукции, снижения себестоимости яиц и повышения рентабельности производства.

6.3 Экономическая оценка аппаратно-программного комплекса и технологической установки по анализу и сортировке яиц

Для успешного развития отечественного птицеводства и обеспечения роста производства продукции на специализированных птицеводческих предприятиях необходимо постоянно совершенствовать организацию и технологию производства. Наиболее эффективными являются мероприятия по выявлению и использованию резервов производства, что, в свою очередь, обуславливает необходимость в рациональном использовании племенных ресурсов, техническое оснащение и управление технологическими процессами, внедрение инновационных технологий (информационных технологий и технологий машинного зрения).

Эффективность производства, как экономическая категория, представляет собой соизмерение результатов деятельности предприятия с затратами и рациональным использованием ресурсов на производство продукции. Чем меньше затраты на производство продукции, тем выше эффективность и рентабельность предприятия [180].

При изучении экономической эффективности яичного птицеводства необходимо учитывать специфические особенности данной отрасли: продукция производится в течение всего календарного года, высокая трудоемкость и капиталоемкость производства, наличие скоропортящейся продукции, зависимость эффективности производства от породных и индивидуальных наследственных (генетических) особенностей птицы, необходимость обеспечения высокого уровня зоотехнической работы, племенного и производственного

учета, мониторинга качества пищевой и племенной продукции, потребность в высококачественных комбикормах [99].

Экономическая эффективность (англ. Economic efficiency) - это величина, определяемая соотношением полученных результатов деятельности человека, производства продукции (товаров или услуг), затрат труда и средств на производство.

Опираясь на свои исследования П. Самуэльсон (2005) и У. Нордхаусу (2020) отмечают, что «…*экономическая эффективность* - это получение максимума возможных благ от имеющихся ресурсов, постоянно соотнося выгоды (блага) и затраты, при этом необходимо вести производственную деятельность рационально. Производитель и потребитель благ нацелены на получение максимальной эффективности, наращивая при этом свои выгоды и снижая до минимума затраты» [169].

В связи с этим определенное значение имеет выполнение научных исследований по широкому аспекту проблем эффективности, в частности, по уточнению сущности экономической эффективности как спроса экономической категории, выявлению критериев и определению системы показателей, посредством которых представляется возможным измерить сложившийся уровень эффективности производства сельскохозяйственной продукции и на основе полученных результатов разрабатывать рекомендации и инструменты направленные на повышение рентабельности производства.

Исследования, посвященные проблеме эффективности, в частности, сельском хозяйстве, свидетельствуют о том, что данная экономическая категория является сложной, поскольку должна отражать результативность разнообразной деятельности во взаимосвязи с затратами и ресурсами на ее осуществление [183].

В диссертационной работе представлен анализ результатов использования базового и проектного варианта для оценки качества, отбора инкубационных яиц (таблица 71) и прогнозирования пола цыплят на стадии до инкубации яиц (таблица 72). С целью исключения определенного влияния на результаты

исследований фактора «кросс» для анализа эффективности использования аппаратно-программного комплекса было взято яйцо от кур-несушек родительского стада кросса «Ломанн Браун Классик».

Далее поэтапно были проведены следующие исследования:

- визуальный анализ, оценка и отбор яиц. Из общего количества (2000 шт.) собранных в цехе родительского стада были отобраны для инкубации яйца, имеющие среднюю массу, без видимых повреждений, загрязнений и выраженной мраморности;

- инструментальный анализ и отбор яиц. Использована технология овоскопирования (базовый вариант) и технология машинного зрения (проектный вариант) для оценки качества и оплодотворенности. Яйцо, не отвечающее требованиям, предъявляемым к качеству инкубационных яиц, было выбраковано с последующей реализацией как «пищевое»;

- инкубация яиц и анализ результатов. Проведена инкубация яиц по технологии и режимам принятой на предприятии. Далее после завершения инкубации сделан анализ результатов вскрытия и органолептической оценки «инкубационного брака»;

- оценка суточных цыплят. Отбор кондиционных цыплят и разделение их по половой принадлежности. Для контроля качества суточного молодняка использовали визуальный осмотр по экстерьерным признакам и взвешивание.

Кондиционные цыплята - это суточный молодняк, который соответствует установленным стандартам качества по внешним признакам и не имеет отклонений от нормы развития. Цыплята активны, уверенно стоят на лапах, быстро реагируют на звук. Грудная кость (киль) длинная, упругая, живот (на ощупь) мягкий, подобранный, крылья плотно прижаты к туловищу, пупочное кольцо плотно закрыто, клоака чистая, розовая, влажная.

Для определения параметров эффективности была калькулирована себестоимость инкубации яиц используя методические рекомендации [127].

Для целей управления затратами был учтен интегральный показатель – удельные приведенные затраты на 1 голову ремонтного молодняка, который рассчитывается по следующей формуле:

$$С_{1\ гол}^{класс} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Z_i \cdot k_i^{зоо}) - В_{потерь}}{N_{кл}}, \quad (152)$$

где Z_i – прямые затраты по i–й статье; $k_i^{зоо}$ – зоотехнический коэффициент, учитывающий кросс и возраст; $В_{потерь}$ – стоимость падежа, выбраковки; n – количество статей; $N_{кл}$ – количество голов данной категории за период.

Затраты на инкубацию 1000 штук яиц.

Собирая все статьи, получаем уравнение:

$$С_{1000}^{полн} = \sum_i \frac{(А_i + ОТ_i + Э_i) \cdot (1 + k_{проч})}{N}, \quad (153)$$

где, $А_i$ – амортизация i-го оборудования; $ОТ_i$ – оплата труда; $Э_i$ – энергия; $k_{проч}$ – коэффициент прочих затрат (ремонт, связь и т.д.); N - количество яиц.

Анализ результатов использования аппаратно-программного комплекса (таблица 71) при оценке и отборе инкубационных яиц показало, что внедрение цифровых технологий способствовало повышению результативности определения оплодотворенности яиц на 5,1%, вывода цыплят на 5,0% и количества кондиционных цыплят на 1,2%. При этом снизился «инкубационный брак» на 4,9%. Косвенным показателем качества отобранного для выращивания молодняка служит соотношение кондиционных и некондиционных особей. Слабых и калек должно быть не более 2%.

При цене реализации полученных суточных цыплят по 57 руб/гол прибыль от внедрения инновационной технологии повысилась на 39,9%, а рентабельность на 8,9%.

В практике промышленного яичного птицеводства до закладки яиц в инкубатор проводится их отбор и отбраковка. Мировая индустрия яичного птицеводства производит миллиарды суточных цыплят каждый год для замены кур несушек промышленного и родительского стада.

Таблица 71 – Показатели эффективности аппаратно-программного комплекса и технологической установки при оценке и отбора инкубационных 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	61,2	60,8
Оплодотворенность яиц (заложено в инкубатор), шт./%	853/90,3	901/95,4
Вывод цыплят, гол. %	742 87	829 92
Замершие, шт./%	22/2,6	10/1,1
Задохлики, шт./%	70/8,2	42/4,7
Получено кондиционных цыплят, гол %, в том числе: петушков, гол/%; курочек, гол/%	727 97,9 365/50,2 362/49,8	821 99,1 412/50,2 409/49,8
Общая себестоимость суточных цыплят, руб.	16207,30	17119,10
Цена реализации суточных курочек, руб./гол Выручка от реализации всего поголовья, руб.	57,00 20634,00	57,00 23313,00
Прибыль от реализации суточных курочек, руб.	4426,70	6193,90
Уровень рентабельности, %	27,3	36,2
Реализовано яиц непригодных к инкубации (как пищевое), шт.	92	44
Общая себестоимость яиц непригодных к инкубации (как пищевое), руб.	646,3	309,1
Цена реализации 10 шт. яиц, руб.	74,00	
Выручка от реализации яиц, руб.	680,8	325,6
Прибыль, руб.	34,5	16,5
Уровень рентабельности, %	5,3	
Совокупная прибыль, руб.	4461,2	6210,4
Совокупный уровень рентабельности, %	26,5	35,6

В суточном возрасте цыплят разделяют по полу, петушков отбраковывают поскольку для производства яиц выращиваются только курочки. Утилизация нежелательных цыплят-самцов создает проблемы с эффективностью птицеводства и снижает рентабельность производства. Разработка технологии и модели аутосексинга и повышения эффективности воспроизводства сельско-

хозяйственной птицы на основе инновационных методов сексирования домашней птицы по полу на стадии отбора яиц для инкубации является актуальной проблемой и имеет большое практическое значение.

Каждый биологический признак представляет собой функцию многих переменных: на него влияют как генетические, так и средовые факторы, что обусловливает изменчивость признаков и их проявление в фенотипе. Специалистам в яичном птицеводстве важно знать, какой пол имеют вылупившиеся цыплята. Это необходимо для того, чтобы не кормить лишнее поголовье, так как по природе курочки и петушки рождаются соотношением 50% на 50%.

В истории птицеводства достаточно давно существовала проблема — как определить пол у будущего или суточного цыплёнка со стопроцентной (или близкой к ней) точностью. В настоящее время существует более 10 методов определения пола цыпленка. Использование этих методов сопровождается физическим воздействием на инкубационное яйцо или суточного цыпленка, что в последствии может отрицательно повлиять на развитие эмбриона или организма ремонтного молодняка.

Анализируя исторические аспекты эффективности воспроизводства сельскохозяйственной птицы Бобылева Г. А. (2005) отмечает: «Проблема отбора яиц для инкубации была актуальной со времен Аристотеля. И остается такой же и в настоящее время, несмотря на то что современное состояние развития научно-технического прогресса дает возможность решить все насущные проблемы» [26].

Результаты инкубации яиц и параметры эффективности использования аппаратно-программного комплекса представлены в таблице 72.

Анализ полученных данных свидетельствует о достаточно высокой эффективности определения оплодотворенности яиц как при использовании базового варианта (89,6%), так и проектного варианта (94,7%), а также качественных параметров яиц, которые предопределяют уровень вывода цыплят. При этом вывод цыплят в первом варианте составил 85%, а во втором – 91%, соответственно.

Таблица 72 – 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

Использование технологии машинного зрения с глубоким обучением нейросетей с целью анализа качества инкубационных яиц и установления пола

цыплят на стадии до начала инкубации показало достаточно высокий уровень эффективности.

В наших исследованиях была использована трехкратная повторность анализа и получен коэффициент прогноза пола цыплят на уровне 0,87.

После оценки и анализа качества, установления пола на инкубацию заложено 389 яиц. В результате инкубации получено 354 голов, при этом кондиционных цыплят было 352 (99,3%), в том числе: курочки – 340 голов (96,6%); петушки – 12 голов (3,4%). Пол цыплят определили по цвету оперения. При этом следует отметить, что по сравнению с базовым вариантом «инкубационного брака» было ниже, а именно: «замершие» - на 1,2%; «задохлики» на 3,5%, что свидетельствует о биологической эффективности использования инновационного проекта в птицеводстве.

Экономическая оценка реализации суточных курочек, полученных при использовании «проектного варианта» показала, что прибыль составила 11988,85 рублей, что выше в 3,2 раза по сравнению с «базовым вариантом», а рентабельность технологических операции по оценке, отбору и инкубации яиц при этом увеличилась в 6,9 раз. При этом получен еще дополнительный доход от реализации яиц «не пригодных к инкубации» 725,2 рублей (базовый вариант) и 41114,4 рублей (проектный вариант), соответственно.

Таким образом, оценка качества яиц является первым необходимым шагом для успешного проведения инкубации. Физические размеры и пропорции морфологических признаков обусловлены наследственностью, индивидуальными особенностями птицы и формируются под влиянием ряда факторов. Разработка способа оценки и отбора инкубационных яиц, алгоритма прогнозирования пола цыплят на ранней стадии развития эмбриона с использованием технологии машинного зрения с глубоким обучением нейросети способствовало получению совокупной прибыли в наших исследованиях 18199,25 руб. в расчете на 1000 штук отобранных на инкубацию яиц, что выше чем при «базовом варианте» в 2,4 раза.

6.4 Выводы по главе 6

На основе проведённых исследований биологической и экономической эффективности использования кур разных генетических групп, а также разработанной технологической установки для сортировки яиц, можно сделать следующие выводы:

1. Генетический фактор оказал существенное влияние на уровень биологической эффективности использования кур разных кроссов. Высокий уровень качества инкубационных яиц (92,4% пригодных к инкубации) установлен у птицы родительского стада белых кроссов («Корал», «Супер Ник»), что выше, чем у кур коричневых кроссов, на 3,4% («Ломанн Браун Классик») и 2,0% («Браун Ник») соответственно. Высокая сохранность птицы отмечена в группах «Ломанн Браун Классик» (96,3%) и «Корал» (95,4%), а интенсивность яйценоскости кур промышленного стада была максимальной в группе «Корал» (92,6%).

2. Наибольший индекс биологической ценности кур (ИБЦ) 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%.

3. Экономическая эффективность выращивания молодняка оказалась наиболее высокой в группе кросса «Супер Ник», где рентабельность составила 53,1%, что выше, чем в группе «Корал» на 3,9%, «Браун Ник» на 7,7% и «Ломанн Браун Классик» на 11,7%. Прибыль от реализации 1 головы молодняка в данной группе составила 84,78 руб.

4. 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%).

5. Внедрение аппаратно-программного комплекса для оценки и отбора инкубационных яиц способствовало повышению оплодотворяемости яиц на 5,1%, 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%.

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%.

7. 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).

8. 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.

9. 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.

10. 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.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведённых 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: $I\_form = (S\_trans / S\_long) \cdot \sin\alpha$. 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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдрахимов Д. А. Актуальность разработки сервиса инфракрасной системы идентификации свиней на основе искусственного интеллекта / Д. А. Абдрахимов, М. Н. Степанцевич // Управление земельно-имущественным комплексом в условиях цифровизации агропромышленного производства: Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 80-летию высшего землеустроительного образования в Пермском крае. — Пермь: ИПЦ Прокрость, 2024. — С. 13—18.

2. Абдрахимов Д. А. Анализ способов внесения жидких органических удобрений / Д. А. Абдрахимов, Н. Козлов // Развитие научно-инновационного потенциала аграрного производства: проблемы, тенденции, пути решения. Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции. — Тверь, 2022. — С. 121—123.

3. Автоматизация процесса прогнозирования данных / О. А. Иващук, О. Д. Иващук, С. В. Игрунова [и др.] // Известия Юго-Западного государственного университета. — 2025. — Т. 29, № 2. — С. 166—185. (5 аб)

4. Агабабова А. С. Использование альтернативных способов содержания при выращивании ремонтного молодняка / А. С. Агабабова, Л. Т. Васильева // Роль молодых ученых в решении актуальных задач АПК : Материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и обучающихся, посвящается 115-летию Санкт-Петербургского государственного аграрного университета, Санкт-Петербург-Пушкин, 28–30 марта 2019 года. – Санкт-Петербург-Пушкин: Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, 2019. – С. 62-63. – EDN NVGCXB.

5. Агафонычев В.П. Куриные яица – ценные компоненты комбинированных мясо-яичных продуктов / В.П. Агафонычев, В.Н. Махонина // Пищевая индустрия. - №3. – 2018. - С.23-25.

6. Адаптивная ресурсосберегающая технология производства яиц: Монография / В.И. Фисинин [и др.]; под ред. В.И. Фисинина. Сергиев Посад, 2016. – 352 с.

7. Алекперов К. Перспективы развития свиноводства в 21 веке / К. Алекперов // Свиноводство. — 2002. — № 1. — С. 18—28.

8. Алексей Макаревич. Автоматическая идентификация — фаворит мировой торговли / Алексей Макаревич // Наука и инновации. – 2006. – № 10 (44). – С. 63–66. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/avtomaticheskaya-identifikatsiya-favorit-mirovoy-torgovli (дата обращения: 15.10.2025).

9. Алиева Э.Н. Современный взгляд на выращивание яичной птицы. Биобезопасность предприятия / Э.Н. Алиева, Д.В. Коршунов // Птицеводство. – 2021. – № 3. – С. 60-63.

10. Алтухов Ю.П. Полиморфизм ДНК в популяционной генетике / Ю.П. Алтухов, Е.А. Салменкова // Генетика. – 2002. — Т.38 – С. 1173-1195.

11. Анаников Я. Г. Особенности формирования биолого-хозяйственных признаков и яичная продуктивность кур разных кроссов: дис. канд. биол. наук : 4.2.4. – Ижевск, 2025. – 170 с.

12. Андреева О.Н. Минеральные компоненты сыворотки крови, структура скорлупы яиц и продуктивность мясных кур на фоне применения препаратов «Апекс» и «Эмицидин» / О.Н. Андреева// Вестник аграрной науки. – 2020. – № 2. – С. 15-18.

13. Ануарбекова Д.М. Повышение биоресурсного потенциала кур-несушек родительского стада при использовании принудительной линьки / Д. М. Ануарбекова, М. Б. Сагинбаева // Современная наука: новые подходы и актуальные исследования: Материалы Международной (заочной) научно-практической конференции, Прага, 18 апреля 2022 года. – Нефтекамск: Научно-издательский центр "Мир науки" (ИП Вострецов Александр Ильич), 2022. – С. 57-65. EDN QPEQGO.

14. Астраханцев А. А. Качество пищевых яиц при различной продолжительности фаз в кормлении кур-несушек / А. А. Астраханцев, М. А. Перевозчиков, В. В. Наумова // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 2 (58). – С. 185–190.

15. Астраханцев А.А. Рост и развитие молодняка кур различных кроссов / А.А. Астраханцев, Н.В. Исупова, Г.Н. Миронова // Научный потенциал – аграрному производству: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2008. – С. 7-11.

16. Астраханцев А.А. Рост и развитие ремонтного молодняка и его влияние на последующую яичную продуктивность кур-несушек / А.А. Астраханцев, Н.В. Исупова // Вестник Ижевской ГСХА. – 2015. – № 4(45). – С. 14-18.

17. Батанов С. Д. Модель прогнозирования молочной продуктивности коров по их экстерьерным особенностям / С. Д. Батанов, И. А. Баранова, О. С. Старостина // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2019. – № 1(49). – С. 55-62. – DOI 10.31563/1684-7628-2019-49-1-55-62. – EDN ZAERKH.

18. Бекенев В. А. Технология разведения и содержания свиней: учебное пособие / В. А. Бекенев; В. А. Бекенев. – Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2012. – (Учебники для вузов. Специальная литература). – ISBN 978-5-8114-1257-0. – EDN QLCUKZ.

19. Белая М.В. Оценка реализации генетического потенциала продуктивности кур-несушек кросса «Хайсекс Браун» / М.В. Белая, А.Р. Лозовский // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – №2-1. – С. 581.

20. Беляков М.В. Оптические люминесцентные свойства яиц / М.В. Беляков // Аграрная наука. – 2024. – Т. 378, № 1. – С. 114–117. – DOI: 10.32634/0869-8155-2024-378-1-114-117.

21. Бессарабов Б. Ф. Инкубация яиц сельскохозяйственной птицы / Б. Ф. Бессарабов, А. А. Крыканов, А. Л. Киселев. – Санкт-Петербург: Издательство «Лань», 2015. – 160 с. – ISBN 978-5-8114-1829-9. – EDN VLRHBH.

22. Бессарабов Б. Ф. Методы оценки качества яиц / Б. Ф. Бессарабов, Н. П. Мишуров, А. А. Усов // Ефективне птахівництво. – 2005. – № 2. – С. 17-23. – EDN LWDZCM.

23. Бессарабов Б. Ф. Недостаток макро- и микроэлементов у птиц / Б.Ф. Бессарабов // Био. 2002. – № 7. – С. 10-12.

24. Бессарабов Б.Ф. Инкубация яиц с основами эмбриологии сельскохозяйственной птицы / Б.Ф. Бессарабов. – М.: КолосС, 2006. – 240 с.

25. Благополучие кур-несушек в индустриальном производстве / В. В. Недосеков, А. Г. Кравченко, И. С. Клейменов [и др.] // Вестник аграрной науки. – 2020. – № 4(85). – С. 66-77. DOI 10.17238/issn2587-666X.2020.4.66. – EDN JQNNII.

26. Бобылева Г.А. Птицеводство России / Г.А. Бобылева // Птицеводство. – 2005. – №4. – С. 4-11.

27. Бобылева Г.А. Состояние птицеводческого комплекса России и перспективы его развития / Г.А. Бобылева // Птица и птицепродукты. – 2014. – № 6. – С. 18-22.

28. Боголюбский С.И. Методы улучшения качества яиц / С.И. Боголюбский, П.П. Царенко // Повышение качества пищевых яиц: Сб. науч. тр. ВАСХНИЛ. – М.: Урожай, 1976. – С. 40-50.

29. Боярский Р. Проблемы дальнейшего развития и интенсификации свиноводства / Р. Боярский // Свиноводство. – 2004. – № 6. – С. 24–26. (14 аб)

30. Бресь К. И. Воспроизводство свиней в промышленных условиях / К. И. Бресь // Материалы Международного научного симпозиума, посвященного 150-летию со дня рождения выдающегося ученого в области зоотехнии академика Е.Ф. Лискуна «Достижения зоотехнической науки в решении актуальных задач животноводства и аквакультуры». – Москва, 2023. – С. 49–53.

31. Бритон Г. Биохимия природных пигментов. – М.: Мир, 1986. – 422 с.

32. Буклагин, Д. С. Цифровые технологии управления сельским хозяйством / Д. С. Буклагин // Международный научно-исследовательский журнал. – 2021. – № 2-1(104). – С. 136-144. – DOI 10.23670/IRJ.2021.103.2.026. – EDN XIAMAC.

33. Бурдашкина В. Возраст родительского стада и инкубационные качества яиц / В. Бурдашкина // Животноводство России. – 2012. – Спецвыпуск. – С. 23-26.

34. Буяров А.В. Промышленное птицеводство России: тренды, проблемы и перспективы инновационного развития /А.В. Буяров // Вестник аграрной науки. – 2024. – №5 (110). – С. 34-41.

35. Буяров В. С. К повышению выводимости яиц сельскохозяйственной птицы / В. С. Буяров, О. Н. Сахно // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. – 2013. – № 2. – С. 67-72. EDN QAIIEX.

36. Буяров В.С. Оценка племенных качеств сельскохозяйственной птицы мясного направления продуктивности (обзор) / В. С. Буяров, Я. С. Ройтер, А. Ш. Кавтарашвили [и др.] // Вестник аграрной науки. – 2019. – № 3(78). – С. 30-38. DOI 10.15217/issn2587-666X.2019.3.30. EDN TBKSKQ.

37. В клетке или на полу? / В. Лукьянов, Т. Столляр, А. Кавтарашвили [и др.] // Птицеводство. – 2007. – № 2. – С. 3–12.

38. Вайсерман А. Биотехнический комплекс «Сигнал» / А. Вайсерман // Радио. – 1985. – № 7. – С. 11-13.

39. Вартанова М.Л. Перспективы цифровизации сельского хозяйства как приоритетного направления импортозамещения / М.Л. Вартанова, Е.В. Дробот // Экономические отношения. – 2018 – Т. 8. – № 1. – С. 1-18.

40. Васильева Л.Т. Влияние возраста кур-несушек кросса Hy-Line Brown на качество яиц /Л.Т. Васильева, А.Г. Бычаев // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2023. – №6. – С. 79-88.

41. Вахрушева А. А. Технологии позиционирования в режиме реального времени / А. А. Вахрушева // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). – 2017. – Т. 22. – № 1. – С. 170–177. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-pozitsionirovaniya-v-rezhime-realnogo-vremeni (дата обращения: 15.09.2025).

42. Ведомственный проект «Цифровое сельское хозяйство»: официальное издание. –М.: ФГБНУ «Росинформагротех». – 2019. – 48 с.

43. Везиров А. О. Роботизированные системы в птицеводстве: современное состояние и перспективы / А.О. Везиров // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2025. – № 6. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2025/6/st_636.pdf. DOI: https://doi.org/10.51419/202156636.

44. Вибе фон дер Слаюс. Будущее инкубационных технологий – на кончиках наших пальцев / Вибе фон дер Слаюс // World Poultry. – 2009. – С. 148-150.

45. 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. – №3. – С. 55-61. – DOI 10.31588/2413_4201_1883_2_255_55. – EDN KRZJYX.

46. Влияние возраста родительских стад и длительности хранения инкубационного яйца на развитие эмбрионов и качество суточного бройлера / Л. В. Хорошевская, И. Ф. Горлов, М. И. Сложенкина [и др.] // Ветеринария и кормление. – 2023. – Т. 3. – № 1. – С. 64-66.

47. Влияние использования источников освещения различного типа в промышленном птицеводстве на продуктивные качества кур-несушек / О. Ю. Ежова, А. Я. Сенько, Ю. Ю. Астахова [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2019. – № 5(79). – С. 268-269. EDN JHUSDU.

48. Влияние морфометрических параметров яиц на результаты инкубации и выращивание ремонтного молодняка / С.Д., Батанов, И.А., Баранова, О.С. Старостина, Е.И. Шкарупа [и др.] // Птица и птицепродукты. - №6. – 2024. – С. 30-33.

49. Влияние новой кормовой добавки на качественные показатели пищевых яиц / З.Б. Комарова, А.В. Рудковская, М.В. Фролова [и др.] // Научные основы создания и реализации современных технологий здоровьесбережения: мат. Межрег. науч.-практ. конф. (с международным участием), посвященной 90-летию ФГБОУ ВО РостГМУ Минздрава России. Волгоград, 2020. – С. 231-238.

50. Влияние освещения на время яйцекладки и качество куриных яиц (обзор) / А. Ш. Кавтарашвили, В. И. Фисинин, В. С. Буяров [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2019. – Т. 54, № 6. – С. 1095–1109. DOI: 10.15389/agrobiology.2019.6.1095rus.

51. Воспроизводительные качества кур-несушек при внесении в рацион кормового пробиотика Ветоспорин-Актив / Р.Р. Гадиев, А.Р. Гайфуллина, В.И. Косилов [и др.] // Вестник Ошского государственного университета. – 2025. – № 1 (10). – С. 132-140.

52. Гены рецепторов гормонов, влияющих на яичную продуктивность и воспроизводительные качества кур / Е. И. Куликов, Л. Г. Коршунова, Р. В. Карапетян // Генетика. - 2023. – Т. 59. – № 11. – С. 1203-1211.

53. Глотова Г.Н. Применение принудительной линьки кур-несушек промышленного стада как эффективный метод продления срока продуктивного использования / Г. Н. Глотова, Е. Г. Куропова // Комплексный подход к научно-техническому обеспечению сельского хозяйства: Материалы Международной научно-практической конференции (Международные Бочкаревские чтения), посвященной памяти члена-корреспондента РАСХН и НАНКР, академика МАЭП и РАВН Бочкарева Я.В. Рецензируемое научное издание, Рязань, 06–09 декабря 2018 года / Редакционная коллегия: Бышов Н.В., Лазут-

кина Л.Н., Мажайский Ю.А. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2019. – С. 478-481. EDN BHWDJQ.

54. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2020. – 1104 с.

55. Горелик О. В. Динамика морфологических показателей качества яиц и их взаимосвязь в ходе репродуктивного периода / О. В. Горелик, Л. Ш. Горелик, С. Ю. Харлап // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2019. – № 55. – С. 91-96. – DOI 10.24411/2078-1318-2019-12091. – EDN VMGPYH.

56. Горелик О.В. Динамика морфологических показателей качества яиц и их взаимосвязь в ходе репродуктивного периода / О.В. Горелик, Л.Ш. Горелик, С.Ю. Харлап // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2019. - № 55. – С. 91-96.

57. ГОСТ Р 70652-2023. Системы технического зрения. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2023. – 28 с.

58. ГОСТ Р 71738-2024. Искусственный интеллект в диагностических системах. – М.: Стандартинформ, 2024. – 42 с.

59. Гречкина В. В. Роль аминокислот в кормлении сельскохозяйственной птицы / В. В. Гречкина // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 2 (94). – С. 333–336.

60. Гузенко, Е. Инкубационные качества яиц кур кросса «Конкурент» / Е. Гузенко // Передовой науч.-произв. опыт в птицеводстве. – 1992. – № 3. – 21 с.

61. Дарьин А. И. Влияние возраста кур на морфологические качества яиц кур-несушек родительского стада бройлеров / А. И. Дарьин // Агропромышленный комплекс: состояние, проблемы, перспективы: Сборник статей XVIII Международной научно-практической конференции, Пенза, 02–03 ноября 2023 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2023. – С. 303-306. – EDN GOFKHP.

62. Д.В. Х. Электронная идентификация животных / Х. Д.В, М. А.С // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. — 2011. — Т. 206. – № 2. — С. 236—240.

63. Дерхо М. А. Стресс-индуцированные изменения активности щелочной фосфатазы в организме цыплят / М. А. Дерхо; С. Ю. Харлап // Влияние науки на инновационное развитие: материалы Международной научно-практической конференции. – 2016. – С. 35-38.

64. Джагаев А. Ю. Сравнительный анализ морфометрических показателей яиц кур разных генотипов / А. Ю. Джагаев, А. Н. Ветох, Э. Р. Ильина // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 3(59). – С. 175-180.

65. Дмитриева А.А. Пути повышения продуктивных качеств птицы кросса «Хайсекс Браун» / А. А. Дмитриева, А. К. Карапетян, С. И. Николаев // Современные способы повышения продуктивных качеств сельскохозяйственных животных: Сборник статей Международной научно-практической конференции, Саратов, 22 мая 2023 года. – Саратов: Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, 2023. – С. 15-19. EDN SIWHVK.

66. Дьяконов В. П. Компьютерное зрение: теория и практика / В. П. Дьяконов. – Москва: СОЛОН-Пресс, 2019. – 340 с.

67. Дядичкина Л. Инкубация – главное звено в цепи воспроизводства птицы / Л. Дядичкина // Птицеводство. – 2010. – № 1. – С. 21–23.

68. Дядичкина Л. Ф. Инкубационные качества яиц разных весовых категорий в зависимости от возраста кур несушек / Л. Ф. Дядичкина; Н. С. Позднякова; Т. А. Мелехина // Достижения в современном птицеводстве: исследования и инновации. – Сергиев Посад, 2009. – С. 189-190.

69. Дядичкина Л. Ф. Качество яиц - залог успешной инкубации / Л. Ф. Дядичкина // Птицеводство. – 2008. – № 3. – С. 21-23.

70. Дядичкина Л. Ф. Морфологические особенности эмбрионального развития высокопродуктивных мясных кроссов кур / Л. Ф. Дядичкина; Т. В. Цилинская // Птица и птицепродукты. – 2011. – № 5. – С. 39-43.

71. Дядичкина Л. Ф. Улучшение результатов инкубации куриных яиц при длительном хранении / Л.Ф. Дядичкина// Птица и птицепродукты. 2018. - № 1. - С. 54-57.

72. Дядичкина Л.Ф. Биологический контроль в процессе инкубации / Л.Ф. Дядичкина // РацВетИнформ. – 2015. – № 2 (162). – С. 14–18.

73. Дядичкина Л.Ф. Возраст кур и сроки хранения яйца / Л.Ф. Дядичкина, Н. Юрочкина // Животноводство России. – № 5. – С. 21. (23 таш)

74. Егоров И.А. Комплексная полифункциональная пробиотическая добавка к комбикормам / И.А. Егоров, Т.В. Егорова, Н.А. Ушакова // Птица и птицепродукты. – 2015. – № 1. – С. 34-36.

75. Ежова О. Ю. Применение ферментного препарата Ровабио в кормлении гусынь / О. Ю. Ежова, А. Я. Сенько // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2017. – № 2 (64). – С. 180–182.

76. Ежова О. Ю. Эффективность выращивания на мясо утят разных кроссов / О. Ю. Ежова, Э. К. Егорова // European Science. – 2018. – № 5 (37). – С. 43–45.

77. Епимахова Е. Э. Продуктивность ремонтных петушков и курочек разных пород в клетках / Е. Э. Епимахова, Е. Н. Негро // Достижения и актуальные проблемы генетики, биотехнологии и селекции животных: Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 120-летию со дня рождения профессора О.А. Ивановой, Витебск, 03–05 ноября 2021 года. – Витебск: Учреждение образования «Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины", 2021. – С. 96-99.

78. Епимахова Е.Э. Взвешенная средняя масса ремонтного молодняка кур / Е. Э. Епимахова, Е. И. Растоваров // Повышение производства продукции животноводства на современном этапе: сборник научных трудов по материа-

лам Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию кафедры частного животноводства, Витебск, 02–04 ноября 2022 года. – Витебск: Учреждение образования «Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины», 2022. – С. 112-115. EDN NGZHYU.

79. Епимахова Е.Э. Влияние разных технологических условий содержания на рост и развитие ремонтного молодняка кур кросса «Кобб-500» / Е. Э. Епимахова, Н. И. Кудрявец // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. – 2022. – № 25-2. – С. 29-37. EDN QXBWNG.

80. Ерастов Г. Один из путей производства конкурентоспособной продукции птицеводства / Г. Ерастов // Птицефабрика, 2007. – №2. – С. 58-60.

81. Жеманкулова А. С. Продуктивные и воспроизводительные качества гусынь в зависимости от породной принадлежности / А. С. Жеманкулова, О. Ю. Ежова // Вопросы науки и образования. – 2017. – № 10 (11). – С. 58–60.

82. Заводов В. Научно обоснованный микроклимат – гарантия высокой эффективности животноводческих производств, сохранения здоровья животных и обслуживающего персонала / В. Заводов, А. Заводов // Главный зоотехник. - 2008. - № 12. - С. 68-70.

83. Захарова О.А. Проект Lean для птицефабрики "Волжская" Волгоградской области / О. А. Захарова // Материалы XXIV региональной конференции молодых исследователей Волгоградской области, Волгоград, 05 декабря 2019 года. – Волгоград: Волгоградский государственный аграрный университет, 2020. – С. 185-187. EDN SYWACE.

84. Захарова О.А. Стратегические направления развития промышленного птицеводства в РФ / О. А. Захарова, Д. А. Гронова // Наука и молодёжь: новые идеи и решения: Материалы XIII Международной научно-практической конференции молодых исследователей, Волгоград, 20–22 марта 2019 года. Том Часть II. – Волгоград: Волгоградский государственный аграрный университет, 2019. – С. 347-348. EDN CLBHPC.

85. Изменчивость относительной массы желтка как основа для повышения воспроизводства у мясных кур при сохранении высокой скорости роста цыплят-бройлеров / В.И. Фисинин, Л.И. Тучемский, А.В. Саламатин [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2008. - № 6. – С.33-39.

86. Инкубационные качества яиц с разными морфометрическими параметрами / С.Д. Батанов, И.А. Баранова, О.С. Старостина [и др.] // В сборнике: Пастбищное животноводство и каракулеводство: проблемы и инновационные технологии., 24-25 апреля., 2024г. - Самарканд, 2024. С. 100-104.

87. Иргибаева И.С. Продуктивные показатели ремонтного молодняка кроссов «Ломанн уайт», «Ломанн браун» и «Ломанн сенди» / И. С. Иргибаева, Е. В. Шацких, И. В. Рогозинникова // Инновационные технологии в аграрном производстве: Материалы Межрегиональной научно-практической конференции, Екатеринбург, 12–13 марта 2020 года. – Екатеринбург: Уральский государственный аграрный университет, 2020. – С. 208-209. EDN ETITNK.

88. Искусственный интеллект в научно-техническом развитии сельского хозяйства / Н. П. Мишуров, В. Н. Кузьмин, О. А. Моторин [и др.] // Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК : Материалы XV Международной научно-практической конференции, р.п. Правдинский, Московская обл., 08 июня 2023 года. – Москва: Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, 2023. – С. 78-83. – EDN YBHGBC.

89. Использование дигидрокверцитина и арабиногалактана в комбикормах для кур-несушек / И. А. Егоров, Е. Н. Андрианова, Е. Н. Григорьева [и др.] //. – 2018. – № 1. – С. 12-15.

90. 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.

91. Кавтарашвили А. Направленное выращивание ремонтного молодняка кур / А. Кавтарашвили, Т. Колокольникова // Птицеводство. – № 11. – 2011. – С. 19–24.

92. Кавтарашвили А. Ш. О показателях качества яиц у кур кросса Haisex Brown в зависимости от времени яйцекладки / А. Ш. Кавтарашвили // Сельскохозяйственная биология. – 2021. – Т. 56, № 4. – С. 795-807. – DOI: 10.15389/agrobiology.2021.4.795rus.

93. Кавтарашвили А.Ш. На сколько продлевать срок продуктивного использования кур-несушек / А. Ш. Кавтарашвили // Наше сельское хозяйство. – 2020. – № 16(240). – С. 20-27. EDN HGUOQH.

94. Кавтарашвили, А.Ш. Как управлять массой яиц в промышленном птицеводстве / А.Ш. Кавтарашвили // Ефективне птахівництво. – 2008. – №4. – С. 38-40.

95. Кавтарашвили, А.Ш. Методы регулирования массы яиц кур / А.Ш. Кавтарашвили // Феникс-Кус (Казахстан). – 2010. – №5. – С. 25-27.

96. КиберЛенинка: науч. электрон. б-ка. – URL: https://cyberleninka.ru/ (дата обращения: 2.03.2026).

97. Кнутас О.Б. Эффективность выращивания ремонтного молодняка / О. Б. Кнутас, И. А. Коршева // Мировая наука в эпоху социально-политических трансформаций: новые возможности, пути развития: Материалы IX Международной научно-практической конференции. в 2-х частях, Ставрополь, 30 ноября 2022 года. Том Часть 1. – Ставрополь: Общество с ограниченной ответственностью «Ставропольское издательство «Параграф», 2022. – С. 140-141. – EDN JPAUWF.

98. Козубенко И.С. Вводим цифровые технологии / И.С. Козубенко // Информационный бюллетень Минсельхоза России. – 2018. – №7. – С. 13-19.

99. Колесников В.М. Повышение экономический эффективности и конкурентоспособности производства мяса бройлеров (на материалах Калужской области): автореф. дис. канд. экон. наук / В.М. Колесников. –Калуга, 2002. – 23 с.

100. Колокольникова И. Сохраняем свойства инкубационных яиц // Животноводство России. – 2020. – № 2. – С. 79–83.

101. Колпачёв А. Б. Волновая оптика. Дифракция и дисперсия света: учебное пособие / А. Б. Колпачёв, О. В. Колпачёва. Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2018. – 91 с.

102. Компьютерное зрение: концепт, функционально-целевое назначение, структура, регуляторика / И. В. Понкин, В. П. Куприяновский, С. Л. Морева, А. И. Лаптева // International Journal of Open Information Technologies. – 2024. – Т. 12, № 5. – С. 57-66. – EDN WDFAPU.

103. Коноплева А.П. Содержание кур / А.П. Коноплева, В.И. Гужва. – М.: Россельхозиздат, 1982. – 62 с.

104. Концепция «Научно-технологического развития цифрового сельского хозяйства «Цифровое сельское хозяйство» [Электронный ресурс]. URL: 97d2448548e047b0952c3b9a1b10edde.pdf (документ с сайта mcxac.ru) (дата обращения 18.02.2026).

105. Косячева Н. Н. Пробиотическая добавка при выращивании ремонтного молодняка птиц кросса Хайсекс Браун / Н. Н. Косячева, О. Е. Кротова // Теория и практика современной аграрной науки: Сборник III национальной (всероссийской) научной конференции с международным участием, Новосибирск, 28 февраля 2020 года / Новосибирский государственный аграрный университет. Том 2. – Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2020. – С. 255-257. – EDN JSTDPK.

106. Кочиш И. И. Птицеводство / И. И. Кочиш, М. Г. Петраш, С. Б. Смирнов. – М.: КолосС, 2004. – 407 с.

107. Кочиш И.И. Биология и патология сельскохозяйственной птицы / И.И. Кочиш, В.И. Смоленский, В.И. Щербатов. – М.: «Сельскохозяйственные технологии», 2018. – 386 с.

108. Красноярский государственный аграрный университет: официальный сайт. – Красноярск, [б. г.]. – URL: https://www.kgau.ru/ (дата обращения: 11.11.2025).

109. Кривопишин И.П. Методические рекомендации по инкубации яиц сельскохозяйственной птицы / И.П. Кривопишин, Ю.С. Голдин, Л.Ф. Дядичкина [и др.] – Сергиев Посад, 2001. – 46 с.

110. Кудрявец Н. И. Биологические особенности птиц разных видов: учебно-методическое пособие / Н. И. Кудрявец, Т. В. Петрукович. – Горки: БГСХА, 2018. – 116 с.

111. Курская Ю. А. Птицеводство Часть 1: методическое пособие для занятий семинарского типа/ Ю.А. Курская, З.Ф. Зайцева – Смоленск: ФГБОУ ВО Смоленская ГСХА, 2022. – 193 с.

112. Курская Ю.А. Метод повышения однородности стада ремонтного молодняка яичных кроссов / Ю. А. Курская, М. С. Трябас // Интеграционные взаимодействия молодых ученых в развитии аграрной науки: материалы Национальной научно-практической конференции молодых ученых, в 3 томах, Ижевск, 04–05 декабря 2019 года. Том II. – Ижевск: Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, 2020. – С. 112-117. – EDN DWQUTF.

113. Курская Ю.А. Разработка способа повышения однородности стада кур кросса «Хайсекс браун» / Ю. А. Курская // Инновационные подходы к развитию науки и производства регионов: Сборник научных трудов по материалам Национальной научно-практической конференции, Тверь, 12–14 февраля 2019 года. – Тверь: Издательство Тверской ГСХА, 2019. – С. 180-182. – EDN LHJCJZ.

114. Ландсберг Г. С. Оптика: учебное пособие для вузов / Ландсберг Г. С. – 6-е изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003.

115. Левченко Р.В. Реализация продуктивного потенциала молодняка кур «Доминант ЦЗ» при разных условиях выращивания / Р. В. Левченко, Е. Н. Негро // Аграрная наука - Северо-Кавказскому Федеральному округу. Секция «Молодые аграрии Ставрополья»: Сборник научных трудов по результатам

выполнения выпускных квалификационных работ бакалавров специалистов и магистров. – Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, 2021. – С. 44-47. – EDN HQFVUW.

116. Лекторский И. Н. Постэмбриональный рост цыплят и голубей в связи с развитием эндокринной системы /И. Н. Лекторский, А. И. Ирихимович // Москва: Труды института экспериментального морфогенеза. – 1936. – №4. – С. 189-205.

117. Логвинов О.Л. Технологические аспекты выращивания ремонтного молодняка и родительских форм цыплят-бройлеров в условиях ОАО "Агрокомбинат "Дзержинский" / О. Л. Логвинов // Зоотехническая наука Беларуси. – 2022. – Т. 57. – № 2. – С. 160-177.

118. Макаров А.С. Системы и способы идентификации животных в обеспечении эпизоотического благополучия региона / А. С. Макаров, Н. М. Василевский, Д. В. Хайруллина // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. – 2013. – Т. 215. – № 3. – С. 202-206.

119. Макарова А. В. Пример использования генофонда кур в селекционных программах / А. В. Макарова // Генетика и разведение животных. – 2019. – № 3. – С. 24-28. – EDN QSMYGP.

120. Макарова, Л. О. инновационный прием прединкубационного отбора яиц перепелов / Л. О. Макарова, В. И. Щербатов // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2022. – № 101. – С. 253-256. – DOI 10.21515/1999-1703-101-253-256. – EDN RKMIGG.

121. Максимов Д. А. Мониторинг животноводческих объектов с использованием нейронных сетей / Д. А. Максимов, Э. А. Папушин, Э. В. Васильев // АгроЭкоИнженерия. – 2025. – № 2(123). – С. 117-129. – DOI 10.24412/2713-2641-2025-2123-117-129. – EDN SEWWEZ.

122. Мамедова Р. А. Молочное животноводство в россии: состояние и перспективы цифровизации / Р. А. Мамедова // Агроинженерия. – 2020. – № 6(100). – С. 10-16. – DOI 10.26897/2687-1149-2020-6-10-16. – EDN WSDTKR.

123. Матвеев А. Н. Оптика: учебное пособие для физических специальностей вузов / А. Н. Матвеев. – Москва: Высшая школа, 1985. – 351 с.

124. Мелехина Т. Инкубационные качества яиц одинаковой массы, полученных от кур разного возраста / Т. Мелехина, О. Косенко // Птицеводство. – №9. – 2006. – С. 37-42.

125. Мелехина Т.А. Как сохранить качество инкубационных яиц / Т.А. Мелехина // Аграрная наука. – 2009. – №7. –С. 28-29.

126. Менякина А.Г. Эффективность скармливания цыплятам-бройлерам комбикормов с разной рецептурой / А.Г. Менякина, Л.Н. Гамко, А.И. Строченова // Вестник ФГОУ ВПО Брянская ГСХА. – 2022. – № 3 (91).

127. Методические рекомендации по бухгалтерскому учету затрат на производство и калькулированию себестоимости продукции (работ, услуг) в сельскохозяйственных организациях [Электронный ресурс].: Утверждены приказом Министерства сельского хозяйства РФ от 06.06.2003 г. № 792 // Консультант Плюс: справочная правовая система. - Режим доступа: http:// www.consultant.ru. - 05.11.2017.

128. Методы контроля и оценки качества яиц. Калибровка яиц: метод. рекомендации / ВАСХНИЛ. М., - 1987. – 52 с.

129. Мирошниченко, Ю. А. Использование предприятием АПК интеллектуальной системы управления на базе технологии блокчейн / Ю. А. Мирошниченко, П. П. Гамаюнов, С. Д. Фомин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2025. – № 1(79). – С. 455-461. – DOI 10.32786/2071-9485-2025-01-49. – EDN IUBYXE.

130. Мищенко, А. Сравнение оборудования основных поставщиков, работающих на российском рынке в области радиочастотой идентификации / А. Мищенко // Сельскохозяйственный журнал. – 2014. – Т. 2, № 7. – С. 485–489.

131. Морфологические и биохимические качества яиц / Ю. Косинцев, Э. Тимофеева, В. Волчков [и др.] // Птицеводство. – 2007. – № 9. – С. 45-46. – EDN HHBXMH.

132. Морфология яиц кур кросса УК – Кубань 123 / В. Щербатов, Л. Сидоренко, Т. Пахомова [и др.] // Птицеводство. – 2005. – № 11. – С. 18–19.

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

134. Наумова В.В. Птицеводство: учебное пособие / В.В. Наумова. – Ульяновск: Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия имени П.А. Столыпина, 2008. – 265 с.

135. Наумова В.В. Сравнительное изучение основного обмена, затрат корма и скорости роста молодняка кур разных кроссов / В.В. Наумова // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. – № 1 (25). – С. 136-140.

136. Научная конференция «Студенческий научный форум»: материалы // Красноярский государственный аграрный университет: официальный сайт. – URL: https://scienceforum.ru/ (дата обращения: 12.11.2025).

137. Неверова О.П. Актуальные вопросы выращивания племенных петухов кросса Хайсекс Браун / О. П. Неверова, О. В. Горелик, Н. Л. Лопаева // Аграрный вестник Урала. – 2020. – № S14. – С. 49-55. – DOI 10.32417/1997-4868-2021-14-49-55. – EDN LTQQKG.

138. Никитин А.Б. Применение систем технического зрения для автоматизации сортировки / А.Б. Никитин, А.А. Сорокин // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2022. – № 5. – С. 30–35. (337)

139. Николаев С. И. Совершенствование селекционно-генетических признаков у птиц яичных кроссов / С. И. Николаев, А. К. Карапетян, А. А. Дмитриева // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2023. – Т. 15, № 2. – С. 30-37.

140. Николаев С.И. Совершенствование селекционно-генетических признаков у птицы яичного кросса Хайсекс Браун / С. И. Николаев, А. К. Карапетян, А. А. Дмитриева // Вестник АПК Верхневолжья. – 2023. – № 2(62). – С. 78-82.

141. Новый способ селекции птицы / Е. К. Рехлецкая, А. Б. Дымков, Л. Н. Лазарец [и др.] // Генетика и разведение животных. – 2021. – № 1. – С. 61-66.

142. Новый способ селекции птицы / Е. К. Рехлецкая, А. Б. Дымков, Л. Н. Лазарец [и др.] // Генетика и разведение животных. – 2021. – № 1. – С. 61-66. – DOI 10.31043/2410-2733-2021-1-61-66. – EDN BTEZSY.

143. Новый способ селекции птицы / Е. К. Рехлецкая, А. Б. Дымков, Л. Н. Лазарец [и др.] // Генетика и разведение животных. – 2021. – № 1. – С. 61-66. – DOI 10.31043/2410-2733-2021-1-61-66. – EDN BTEZSY.

144. Обзор исследований и технологий, применимых для цифровизации процесса оценки экстерьера животных в мясном и молочном животноводстве / С. С. Юрочка, А. Р. Хакимов, Д. Ю. Павкин [и др.] // Аграрная наука. – 2024. – № 4. – С. 114-122. – DOI: 10.32634/0869-8155-2024-381-4-114-122.

145. Овчинников А.А. Характеристика инкубационного яйца и тела суточных цыплят в зависимости от пробиотика в рационе кур-несушек / А. А. Овчинников, Л. Ю. Овчинникова, Ю. В. Матросова // От инерции к развитию: научно-инновационное обеспечение развития животноводства и биотехнологий: Сборник материалов международной научно-практической конференции "От инерции к развитию: научно-инновационное обеспечение АПК", Екатеринбург, 18–19 февраля 2020 года. – Екатеринбург: Уральский государственный аграрный университет, 2020. – С. 153-154. – EDN CODEOX.

146. Околелова Т. М. Клеточная усталость кур-несушек: причины и профилактика / Т. М. Околелова, С. В. Енгашев, С. М. Салгереев // Ветеринария. – 2017. – № 11. – С. 15-19.

147. Околелова Т. М. Факторы, влияющие на качество скорлупы яиц / Т. М. Околелова, С. В. Енгашев // Птицеводство. – 2020. – № 11. – С. 57-65. – DOI 10.33845/0033-3239-2020-69-11-57-65. – EDN YXZYFX.

148. Околелова Т. М. Кормление сельскохозяйственной птицы: учеб. пособие / Т. М. Околелова. – М. : Агропромиздат, 1990. – 111 с. (text.pdf)

149. Определение выхода мяса с помощью ультразвуковых сканеров «Скан-грейд» и «Пиглог 105» / А. И. Рудь, П.В. Ларионов, И.Ю. Атамась [и др.]. // Перспективное свиноводство: Теория и практика. – 2011. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-vyhoda-myasa-s-pomoschyu-ul-trazvukovyh-skanerov-skangreyd-i-piglog-105.

150. Определение уровней цифровой зрелости / О. А. Моторин, В. Н. Кузьмин, М. Н. Степанцевич, Е. В. Худякова // Техника и оборудование для села. – 2024. – № 7(325). – С. 15-17. – DOI 10.33267/2072-9642-2024-7-15-17. – EDN RBLGOG.

151. Осипов Ю. С. Большая российская энциклопедия / Осипов Ю. С. – М.: Большая российская энциклопедия, 2004.

152. Остапенко В. І. Удосконалення методів оцінки кривих несучості птиці різних видів / В. І. Остапенко // Вісник Сумського НАУ. – 2022. – № 7. – С. 101–104.

153. Оценка племенных качеств сельскохозяйственной птицы яичного направления продуктивности / В. С. Буяров, Я. С. Ройтер, А. Ш. Кавтарашвили [и др.] // Вестник аграрной науки. – 2019. - №4. – С. 46-55.

154. Патент № 2761356 C1 Российская Федерация, МПК A01K 67/02. Способ содержания яичных кур: № 2021106437: заявл. 11.03.2021: опубл. 07.12.2021 / В. И. Щербатов, Л. И. Смирнова, А. Г. Шкуро, О. А. Шкуро; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный уни7верситет имени И.Т. Трубилина». – EDN GQMBXD.

155. Патент № 2829563 C1 Российская Федерация, МПК A01K 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". – EDN RSLFBV.

156. Петров О. Ю. Медико-биологические и нравственные аспекты полноценного питания / О. Ю. Петров, Ю. А. Александров. – Йошкар-Ола: Мар. гос. ун-т., 2008. – 264 с.

157. ПНСТ 943-2024. Архитектура систем машинного обучения. – М.: Стандартинформ, 2024. – 36 с.

158. ПНСТ 944-2024. Модели данных для систем технического зрения. – М.: Стандартинформ, 2024. – 30 с.

159. Позднякова Н. Морфо-биохимические различия у суточных цыплят, полученных от молодых и переярых кур / Н. Позднякова // Достижения науки в области повышения продуктивности с.-х. птицы и улучшения качества птицепродуктов: Тезисы докладов. – Одесса, 1979. – С. 62-63.

160. Польских С.В. Выращивание молодняка кур несушек с применением зернового мицелия вешенки обыкновенной / С. В. Польских // Ветеринарно-санитарные аспекты качества и безопасности сельскохозяйственной продукции: материалы III-й международной конференции по ветеринарно-санитарной экспертизе, Воронеж, 15 ноября 2018 года / Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I. Том 3. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2019. – С. 254-256. – EDN IRVMTQ.

161. Проявление генетического потенциала кур-несушек в условиях теплового стресса / И. Ф. Горлов, З. Б. Комарова, А. В. Рудковская [и др.] // Аграрно-пищевые инновации. – 2021. – № 1(13). – С. 35-43. – DOI 10.31208/2618-7353-2021-13-35-43. – EDN LXQTQD.

162. Пэн Хуэй. Обнаружение повреждений куриных яиц на основе проекционного преобразования изображений / Пэн Хуэй, Вэнь Юсянь // Сельскохозяйственные науки провинции Хубэй (Hubei Agricultural Sciences). – 2010. – Т. 49, № 3. – С. 694-697.

163. Реализация генетического потенциала продуктивности у кур яичного кросса Декалб Уайт / С. И. Николаев, А. К. Карапетян, А. А. Дмитриева [и др.] // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2023. – № 2(70). – С. 364-370. – DOI 10.32786/2071-9485-2023-02-42. – EDN DGYZHD.

164. Результаты племенной оценки кур родительского стада / С.Д. Батанов, О.С. Старостина, Е.И. Шкарупа [и др.] // В сборнике: Современные тенденции технологического развития АПК: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной Десятилетию науки и технологий и 300-летию Российской академии наук. В 2-х томах., 26 февраля-1 марта, 2024 г. – Ижевск, 2024. – С. 6-9.

165. Речкин С. В. Цифровые технологии в организации пастбищного животноводства / С. В. Речкин, Ю. А. Хлопко, П. И. Огородников // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2019. – № 6 (80). – С. 186–187.

166. Роженцов А. Л. Морфологические и биохимические показатели племенного инкубационного яйца в зависимости от принадлежности к кроссам кур-несушек родительского стада / А. Л. Роженцов, А. В. Онегов, С. Ю. Смоленцев // Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. – 2020. – Т. 6. – № 4(24). – С. 418-426.

167. Руденко Н. Ф. Курсовое проектирование грузоподъемных машин: учеб. пособие для машиностроит. спец. вузов / Н. Ф. Руденко, М. П. Александров, А. Г. Лысяков. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 1971. – 331 с.

168. Рядинская, А. А. Использование в птицеводстве белкового концентрата из нетрадиционного сырья / А. А. Рядинская, И. А. Кощаев. – Екатеринбург: Общество с ограниченной ответственностью «Издательские решения», 2018. – 122 с. – ISBN 978-5-4493-8879-7. – EDN SLTOED. (сайт карта слов)

169. Савицкая Г.В. Анализ хозяйственной деятельности предприятий: учебник / Г.В. Савицкая. – 3-е. изд., перераб. и доп. – М.: Инфра-М, 2005 – 425 с.

170. Сазонова И. А. Влияние фитобиотической добавки на основе эфиромасличных культур на качество мяса бройлеров / И. А. Сазонова, В. И. Пронина // Птица и птицепродукты. – 2025. – № 2. – С. 27-30.

171. Самарин С.А. Технология выращивания ремонтного молодняка кур в промышленных условиях / С. А. Самарин, Н. Л. Лопаева // Современные технологии культивирования, переработки и хранения продукции АПК: Сборник тезисов, Екатеринбург, 10 июня 2022 года. Том 1. – Екатеринбург: Уральский государственный аграрный университет, 2022. – С. 15-16. – EDN NWVIBD.

172. Селекция мясных кур породы плимутрок на повышение воспроизводительных качеств / А. В. Егорова, Д. Н. Ефимов, Ж. В. Емануйлова [и др.] // Птицеводство. – 2021. – № 3. – С. 4-8. – DOI 10.33845/0033-3239-2021-70-3-4-8. – EDN MOOFVO.

173. Сидоренко Л. И. Биология кур: учеб. пособие / Л. И. Сидоренко, В. И. Щербатов. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 244 с.

174. Сидорова Л.В. Продление производственных сроков использования кур-несушек «Ломанн ЛСЛ классик» на предприятии АО «Окское» с принудительной линькой / Л. В. Сидорова, В. В. Самойлова, Е. А. Вологжанина // Развитие научно-ресурсного потенциала аграрного производства: приоритеты и технологии: Материалы I Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Николая Владимировича Бышова, Рязань, 23 ноября 2021 года.

Том Часть II. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2021. – С. 394-399. – EDN MBDJKR.

175. Симонов К. В. Создание системы компьютерного зрения для российского птицеводства: экономика и риски / К. В. Симонов, Н. А. Гирфанова // Управление бизнесом в цифровой экономике: седьмая международная конференция, Санкт-Петербург, 21–22 марта 2024 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет, 2024. – С. 382-387. – EDN IBOITA.

176. Создание новых популяций с использованием генофонда малочисленных и местных пород кур / И.А. Паронян, О.П. Юрченко, А.Б. Вахрамеев [и др.] // Птицеводство. – 2015. - №12. – С. 11-18.

177. Станишевская О. И. Оценка и отбор яичных и мясных кур по физико-химическим характеристикам яиц для использования в программах селекции на повышение генетического потенциала экономически значимых признаков / О.И. Станишевская, Е.С. Торицына. – СПб: Научно-исследовательские рекомендации, 2006. – 54 с.

178. Станишевская О. Режим инкубации должен учитывать качество яйца / О. Станишевская // Животноводство России. – 2008. – № 6. – С. 17-18. – EDN JKARYJ.

179. Станишевская О.И. Повышение качества пищевых яиц / О.И. Станишевская // Птицеводство. – 2008. – №9. – С. 15-17.

180. Станоткин, А.И. Оценка экономической эффективности птицефабрик в СССР / А.И. Станоткин. – М.: ВНИИТЭИСХ, 1974. – 58 с.

181. Старшков А. А. Технология производства яиц на промышленной основе / А. А. Старшков. – М.: Колос, 1978. – 136 с.

182. Степаненко Н. Дослідження показників ефективності виробництва яєць за допомогою математичних методів та моделей. / Н. Степаненко // Таврійський науковий вісник. Серія: Економіка. – 2020. – №2. – С. 303–312.

183. Столляр Т.А. Технологические и организационные подходы к созданию производства бройлеров / Т.А. Столляр, Л.Ф. Самойлов, В.В. Гущин // Птица и птицепродукты. – 2005. – № 1. – С. 32–34.

184. Струк А.Н. Технология выращивания ремонтного молодняка кросса «Хайсекс коричневый» / А. Н. Струк, Е. А. Струк, М. И. Сложенкина; Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции. – Волгоград: Общество с ограниченной ответственностью «Сфера», 2022. – 108 с. – ISBN 978-5-00186-070-9. – EDN FKOAGK.

185. Сырямкин, В. И. Информационные устройства и системы в робототехнике и мехатронике / В. И. Сырямкин. – Томск: Национальный исследовательский Томский государственный университет, 2016. – 524 с. – (Интеллектуальные технические системы). – ISBN 978-5-7511-2443-4. – EDN KVGYNC.

186. Тихомиров А. И. Организационно-экономические проблемы развития животноводства России: Монография / А. И. Тихомиров. — Дубровицы: ФГБНУ ФНЦ ВИЖ имени Л.К. Эрнеста, 2019. — 194 с. (68 аб)

187. Тихонов А.В. Акустическая сигнализация и экология поведения птиц / А.В. Тихонов. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1986. – 240 с.

188. Тихонов А.В. Полуавтоматический радиоэлектронный определитель пола у суточных цыплят мясных направлений / А.В. Тихонов, А.М. Мусаев, В.М. Гуцев // Новые приборы, устройства и технологические процессы, разработанные учеными МГУ. – М., 1982. – С. 3-8.

189. Увеличение сроков использования кур-несушек промышленного стада с ранним применением предкладкового рациона и форсированием линьки / С. А. Нефедова, Л. А. Карпова, А. А. Коровушкин [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2019. – № 3(43). – С. 43-48. – EDN AOCGMW.

190. Умная птицефабрика с использованием технологии IOT / Е. Т. Ербаев, Д. А. Джапарова, А. Р. Гусманова [и др.] // Наука и образование. – 2025. – № 1-3 (78), Ч. II. – С. 32–43. DOI: 10.52578/2305-9397-2025-1-3-32-42.

191. Федорова Е.С. Современное состояние и проблемы племенного птицеводства в России (обзор) / Е. С. Федорова, О. И. Станишевская, Н. Ю. Дементьева // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2020. – Т. 21, № 3. – С. 217-232. – DOI 10.30766/2072-9081.2020.21.3.217-232. – EDN SRMKSH.

192. Фисинин В. Динамика развития мирового и российского птицеводства / В. Фисинин // Комбикорма. – 2024. – № 4. – С. 2-6. – EDNESSQCV.

193. Фисинин В. Е. Качество пищевых яиц и здоровье населения / В. Е. Фисинин, Э. Штеле, Г. Ерастов // Птицеводство. – 2008. – № 2. – С. 2–9.

194. Фисинин В. Рынок продукции птицеводства стабилен / В. Фисинин // Животноводство России. – 2019. – № 3. – С. 8-11. – EDN ZABMRF.

195. Фисинин, В. И. Стратегические тенденции развития мирового и отечественного птицеводства / В. И. Фисинин // Птица и птицепродукты. – 2004. – № 2. – С. 7-10. – EDN TDKHBT.

196. Харлап С. Ю. Оценка адаптационной способности цыплят по активности ферментов крови и супернатанта сердца / С.Ю. Харлап, М.А. Дерхо // АПК России. – 2016. – Т. 75. – № 1. – С. 41–46.

197. Харлап С. Ю. Стресс–индуцированные изменения гематологических показателей в организме цыплят / С.Ю. Харлап // Инструменты и механизмы современного инновационного развития: мат. междунар. науч.–практ. конф. – 2016. – С. 28–31.

198. Худякова Е. В. Проблемы и перспективы цифровой трансформации АПК / Е. В. Худякова, М. Н. Степанцевич, М. С. Никаноров // Международный журнал аграрной науки и образования. — 2024. — № 1 (1). — С. 132-139.

199. Царенко П. П. Методы оценки и повышения качества яиц сельскохозяйственной птицы / П. П. Царенко, Л. Т. Васильева. – Санкт-Петербург: Издательство «Лань», 2021. – 280 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература). – ISBN 978-5-8114-2203-6. – EDN ARFJKI.

200. Царенко П.П. Возрастная изменчивость основных показателей качества куриных яиц / П.П. Царенко, Ж.В. Карасева // Пути интенсификации

производства продуктов птицеводства: Межвузовский сборник трудов. – Л., 1988. – С. 68-74.

201. Царенко П.П. Эволюция качества куриного яйца / П.П. Царенко, Л.Т. Васильева // Животноводство России. – 2009. –№1. –С. 21-22.

202. Царенко, П. П. Повышение качества продукции птицеводства: пищевые и инкубационные яйца: монография / П. П. Царенко. – Санкт-Петербург: Агропромиздат, 1988. – 237 с. – (Продукции - высокое качество). – EDN VKVJDZ.

203. Цуцкова К.Н. Влияние условий содержания на продуктивные качества кур-несушек / К. Н. Цуцкова // Идеи молодых ученых - агропромышленному комплексу: зоотехния и технология переработки сельскохозяйственной продукции: Материалы студенческой научной конференции Института ветеринарной медицины, Троицк, 20–24 марта 2023 года / Под редакцией Н.С. Низамутдиновой. – Челябинск: Южно-Уральский государственный аграрный университет, 2023. – С. 213-220. – EDN PTQEAE.

204. Шапошников А. Источники биологически активных ксантофиллов для яичной продукции /А. Шапошников В. Дейнека, Г. Симонов // Птицеводство. – 2009. – № 4. – С. 41.

205. Шарвадзе Р.Л. Влияние дигидрокверцетина на рост и развитие ремонтного молодняка кур-несушек / Р. Л. Шарвадзе, К. Р. Бабухадия, А. А. Пензин // Эколого-биологическое благополучие растительного и животного мира: Тезисы докладов международной научно-практической конференции, Благовещенск, 20–21 октября 2022 года. – Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет, 2022. – С. 148. – EDN CSNLDT.

206. Шацких Е. В. Влияние антистрессовых препаратов на развитие молодняка родительского стада /Е. В Шацких. Е. Латыпова // Птицеводство. – 2014. – № 1. – С. 22–27.

207. Шашанов И.Р. Эмбриогенез. Периодизация развития кур / И.Р. Шашанов, Л.П. Тельцов, А.Д. Николаев // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2017. – №3. – С. 64-71.

208. Швецова Н. В. Характеристика кур яичных кроссов, разводимых в ООО «Птицефабрика «Приволжская» / Н. В. Швецова // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. – 2020. – № 22. – С. 355-358. – EDN JWRCQE.

209. Штеле А.Л. Качество пищевых яиц в зависимости от массы / А.Л. Штеле // Сб. науч. тр. «Повышение качества продуктов птицеводства». – М.: Колос, 1983 – С. 123-127.

210. Штеле А. Л. Образование биологически полноценных яиц и продуктивность кур яичных кроссов / А. Л. Штеле // Птица и птицепродукты. – 2011. – №6. – С.19-23.

211. Штеле А. Пищевая ценность яиц различной массы и моделирование их калорийности / А Штеле, А. Филатов // Птицеводство. - 2012. – №6. – С. 40-43.

212. Штеле А.Л. Качество яиц и пути его повышения: обзорная информация / А.Л. Штеле. – М.: ВНИИТЭИСХ, 1977 - 54 с.

213. Штеле А.Л. Повышение яйценоскости у высокопродуктивных кур и проблема ее раннего прогнозирования / А.Л. Штеле // Сельскохозяйственная биология. – 2014. – № 6. – С 26-35.

214. Щербатов В. И. Дифференцированный режим инкубации куриных яиц / В. И. Щербатов, С. Б. Едыгова, Э. Н. Цесарская // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2011. – № 30. – С. 181-184. – EDN OJCEYL.

215. Щербатов В. И. Способ отбора инкубационных яиц / В. И. Щербатов, Л.И. Сидоренко, К.Н. Бачинина // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2007. – С.108-114.

216. Щербатов В.И. Новые световые режимы для выращивания цыплят-бройлеров и ремонтного молодняка кур / В. И. Щербатов, Д. С. Андреев // Птицеводство. – 2023. – № 1. – С. 51-55. – DOI 10.33845/0033-3239-2023-72-1-51-55. – EDN LZRDJM.

217. Щербатов В.И. Рекомендации по инкубации яиц домашней птицы для хозяйств различных форм собственности / В.И. Щербатов, С.А. Хасанова, С.А. Донцов. – Краснодар: КубГАУ, 2010. – 76 с.

218. Щербатов, В. И. Инкубация яиц сельскохозяйственной птицы / В. И. Щербатов, Л. И. Смирнова, О. В. Щербатов. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, 2015. – 184 с. – ISBN 978-5-94672-855-3. – EDN ZDASGT.

219. Щербинина М.А. Морфологические признаки яиц кур в зависимости от направления селекции / М.А. Щербинина, В.И. Щербатов // Сборник научных трудов КНЦЗВ. – 2019. – Т. 8. – № 1. – С. 284 – 289.

220. Электронная библиотека БАА: [сайт]. – URL: https://elib.baa.by/ (дата обращения: 20.01.2026).

221. Якименко И.В. 3D-машинное зрение в промышленности / И.В. Якименко // Автоматизация в промышленности. – 2023. – № 4. – С. 22–27. (335)

222. «Павлин Техно» запустила пилот проекта «Зоовизор» на площадке «Светлый Путь» [Электронный ресурс] // CNews.ru. – 2025. – 31 октября. – Режим доступа: https://www.cnews.ru/news/line/2025-10-31_pavlin_tehno_zapustila

223. A lightweight model based on knowledge distillation for free-range chickens detection in complex commercial farming environments / X. Li, M. Cai, Zh. Liu [et al.] // Artificial Intelligence in Agriculture. – 2026. – Vol. 16, No. 1. – P. 266-283. – DOI 10.1016/j.aiia.2025.10.010.

224. A new application of morphometric variables and image processing to determine day-old chicken sex / A. Escamilla-García, G. M. Soto-Zarazúa, M. Toledano-Ayala, A. Gastélum-Barrios // Journal of Applied Research and Technology. – 2022. – Vol. 20, No. 5. – P. 564-569. – DOI 10.22201/icat.24486736e.2022.20.5.1390. – EDN HATJGQ.

225. Advances in Nondestructive Technologies for External Eggshell Quality Evaluation / P. Yu, Ch. Shen, Ju. Cheng [et al.] // Sensors. – 2025. – Vol. 25, No. 18. – P. 5796. – DOI 10.3390/s25185796. – EDN BCPOBU.

226. Ahmed M. M. A smart IoT-based monitoring system in poultry farms using chicken behavioural analysis / M. M. Ahmed, E. E. Hassanien, A. E. Hassanien // Internet of Things. – 2024. – Vol. 25.

227. AIA (Automated Imaging Association). GigE Vision Standard V2.0. – 2020. – 310 p.

228. Alternative Non-Destructive Approach for Estimating Morphometric Measurements of Chicken Eggs from Tomographic Images with Computer Vision / J. P. B. López Vargas, K. L. De Abreu, D. Duarte De Paula [et al.] // Foods. – 2024. – Vol. 13, No. 24. – P. 4039. – DOI 10.3390/foods13244039.

229. Alternative Non-Destructive Approach for Estimating Morphometric Measurements of Chicken Eggs from Tomographic Images with Computer Vision / J. P. B. López Vargas, K. L. De Abreu, D. Duarte De Paula [et al.] // Foods. – 2024. – Vol. 13, No. 24. – P. 4039. – DOI 10.3390/foods13244039. – EDN OUHBBD.

230. Appearance Modeling of Iridescent Feathers with Diverse Nanostructures / Yu. Yunchen, A. Weidlich, B. Walter [et al.] // ACM Transactions on Graphics. – 2024. – Vol. 43, No. 6. – P. 1–18.

231. Application of Digital Image Processing for Egg Defect Detection: A Review / Apeh O.I. [et al.] // Journal of Science Technology and Education. — 2022. — Vol. 10, No. 2.

232. Assessing exterior egg quality indicators using machine vision / A. V. Vasileva, E. V. Gorbunova, A. S. Vasilev [et al.] // British Poultry Science. – 2018. – Vol. 59, No. 6. – P. 636-645.

233. Assessing exterior egg quality indicators using machine vision / A. V. Vasileva, E. V. Gorbunova, A. S. Vasilev [et al.] // British Poultry Science. – 2018. – Vol. 59, No. 6. – P. 636-645. – DOI 10.1080/00071668.2018.1523535. – EDN TGEOGQ.

234. Automated non-laying hen identification via deep learning: A phenotypic characteristics attribution analysis framework / W. Qin, X. Yang, L. Yu [et al.] // Smart Agricultural Technology. – 2025. – Vol. 12. – P. 101184. – DOI 10.1016/j.atech.2025.101184.

235. Avian eggs: morphometric analysis and the application of deep learning for quality assessment / V. G. Narushin, N. A. Volkova, A. Yu. Dzhagaev [et al.] // Animals. – 2025. – Vol. 15, no. 3. – P. 292. – DOI: 10.3390/ani15030292

236. Bain M. M. Increasing persistency in lay and stabilising egg quality in longer laying cycles. What are the challenges /M. M. Bain, Y. Nys, I. C. Dunn // British poultry science. – 2016. – V.57, No. 3. – P. 330–338.

237. Blasco A. Animal breeding methods and sustainability / A. Blasco //Animal Breeding and Genetics. – New York, NY: Springer US, 2022. – P. 5-24.

238. Bouvarel I. Optimizing egg mass and quality traits in modern laying hens through nutrition / I. Bouvarel, Y. Nys // Proc 19th Eur. Symp. Poult. Nutr., Potsdam, Germany. - 2013 - Abstr. 320.

239. Brade W. Body size of Holstein cows – a critical analysis from the point of view of breeding and animal welfare / W. Brade // Berichte uber Landwirtschaft. – 2017. – Vol. 95 (3). – ISSN 2196-5099.

240. Bradski G. Learning OpenCV / G. Bradski, A. Kaehler. – O'Reilly Media, 2008. – 580 p.

241. Bray D.F. The effect of egg weight on strain differences in embryonic and postembryonic growth in the domestic fowl / D.F. Bray, E.I. Iton // British Poultry Science. – 1962. – Vol. 15. – P. 175-187.

242. Bray T. Broiler chicks, its quality that counts / T. Bray // Poultry. – 1985. – Vl. 1, No 6. – P. 38-41.

243. Burton F.G. The effects of egg weight and shell porosity on the growth and water balance of the chicken embryo / F.G. Burton, S. Tullett // Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology. – 1985. – Vol. 81. – P. 377-385.

244. Chen C. F. Correlated responses to long-term selection for clutch length in dwarf brown-egg layers carrying or not carrying the naked neck gene. / C. F. Chen, M. Tixier Boichard // Poultry science. – 2023. – V. 82., No. 5. – P. 709–720.

245. Climate change and heat stress: Impact on production, reproduction and growth performance of poultry and its mitigation using genetic strategies / M. Kumar, S. P. Dahiya, P. Ratwan, A. K. Nehra // Journal of Thermal Biology. – 2021. – Vol. 97. – P. 102867. – DOI 10.1016/j.jtherbio.2021.102867. – EDN XDLVOJ.

246. Computer Vision-Based cybernetics systems for promoting modern poultry Farming: A critical review / X. Yang, R. Bahadur Bist, B. Paneru [et al.] // Computers and Electronics in Agriculture. – 2024. – Vol. 225. – P. 109339. – DOI 10.1016/j.compag.2024.109339. – EDN WIOEVT.

247. Cook-Torrance и прочие BRDF: обсуждение физических моделей отражения / GameDev.ru – Форум разработчиков игр. – 2019. – URL: https://gamedev.ru/flame/forum/?id=94708 (дата обращения: 4.04.2026).

248. Deformable transformer framework for automated calf respiratory health scoring / X. Beibei, T.J. Ward, K.R.K. Gottwald [et al.] // Computers and Electronics in Agriculture. – 2026. – Vol. 249. – 111855. – DOI: 10.1016/j.compag.2026.112345

249. Dei H. K. Effect of wet feeding on growth performance of broiler chickens in a hot climate / H. K. Dei, G. Z. Bumbie // Br. Poult Sci. – 2011. – Vol. 52., No. 1. – P. 82–85. DOI: 10.1080/00071668.2010.540230.

250. Development and validation of YOLO and StrongSORT for tracking multiple individual broiler chickens / V. Merenda, V. U. C. Bodempudi, M. Pairis-Garcia [et al.] // Poultry Science. – 2024.

251. Dorji N. Effect of Wet Feeding in Broiler on Growth Performance under Subtropical Summer Conditions / N. Dorji, B. Rai, J. B. Gaylal // Bhutan Journal of Natural Resources and Development. – 2023. – Vol. 10, No. 2. – P. 21–27.

252. Effect of egg size on hatchability of broiler chicks / S.S. Abiola, O.O. Meshioye, B.O. Oyerinde [et al.] // Archivos de Zootecnia. – 2008. – Vol. 57. – P. 83-86.

253. Effect of pre-incubation and incubation conditions on hatchability, hatch time and hatch window, and effect of post-hatch handling on chick quality at

placement / H. Bergoug, C. Burel, M. Guinebretiere [et al.] // World's Poultry Science Journal. – 2013. – V. 69, No. 2. – P. 313-334.

254. Effect of time of oviposition on egg quality in egg and meat type hens / E. Tůmová, Z. Ledvinka, M. Skřivan [et al.] // Scientia Agriculturae Bohemica. – 2008. – Vol. 39, No. 3. – P. 269-272.

255. Effects of ages of light breeder hens and storage period of hatchable eggs on the incubation efficiency / C. Tanure, M.B. Cafe, N.S.M. Leandro [et al.] // Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinaria e Zootecnia. – 2009. – Vol. 61. – P. 1391-1396.

256. Effects of free-range access on production parameters and meat quality, composition and taste in slow-growing broiler chickens / L. M. Stadig, T. B. Rodenburg, B. Reubens [et al.] // Poult Sci. – 2016. – Vol. 95, No. 12. – P. 2971–2978.

257. Effects of metabolizable energy and crude protein levels on laying performance, egg quality and serum biochemical indices of Fengda-1 layers / Y. Ding, X. Bu, N. Zhang [et al.] // Anim Nutr. – 2016. – Vol. 2., No. 2. – P. 93–98. DOI: 10.1016/j.aninu.2016.03.006.

258. Egg size, Breeder Age and Broiler Growth // Poultry International. – 1993. – № 11. – 54 p.

259. Elibol O. Effect of flock age, cessation of egg turning, and turning frequency through the second week of incubation on hatchability of broiler hatching eggs / O. Elibol, J. Brake // Poultry Science. – 2006. – Vol. 85. – P. 1498-1501.

260. Enhancing broiler profitability through digital twinning // Feed Strategy. – April 2026. – URL: https://www.feedstrategy.com/sustainability-in-feed-production/agriculture-technology/article/15821260/digital-twinning-could-boost-broiler-profitability (дата обращения: 5.05.2026).

261. Enterprise resource planning solution for a poultry firm / F. M. Mulla, S. G. Jangali, V. N. Kulkarni [et al.] // International Journal of Business Information Systems. – 2025. – Vol. 48, № 4. – P. 482–499. – DOI: 10.1504/IJBIS.2025.145550.

262. Evaluation of the exterior of Holstein and Simmental primiparous cows / A. Konstandoglo, V. Foksha, G. Stratan [et al.] // Scientific Papers. Series D. Animal Science. – 2017. – Vol. 60. – P. 35-39.

263. Fan W. Review: The application and challenges of advanced detection technologies in poultry farming / W. Fan, H. Peng, D. Yang // Poultry Science. – 2025. – Vol. 104, No. 11. – P. 105870. – DOI 10.1016/j.psj.2025.105870. – EDN UZMAZX.

264. FCS-Net: модель оценки состояния оперения бройлеров на основе ResNet18 с плотным слиянием признаков RGB и термограмм. – Чжэцзянский университет, 2024.

265. Free Dietary Choice and Free-Range Rearing Improve the Product Quality, Gait Score, and Microbial Richness of Chickens / S. Chen, H. Xiang, X. Zhu [et al.] // Animals (Basel). – 2018. – Vol. 8, No. 6. – P. 84. DOI: 10.3390/ani8060084.

266. Gender determination of fertilized unincubated chicken eggs by infrared spectroscopic imaging / G. Steiner, T. Bartels, A. Stelling [et al.] // Analytical and bioanalytical chemistry. – 2011. – Vol. 400, No. 9. – P. 2775–2782. – DOI: 10.1007/s00216-011-4941-3.

267. Goodfellow I. Deep Learning / I. Goodfellow, Y. Bengio, A. Courville. – MIT Press, 2016. – 800 p.

268. Gorelik A. S. Lactation performance of cows, quality of colostral milk and calves' livability when applying "ALBIT-BIO" / A. S. Gorelik, O. V. Gorelik, S. Yu. Kharlap // Advances in Agricultural and Biological Sciences. – 2016. – Vol. 2, No. 1. – P. 5–12.

269. Growth performance, apparent nutrient digestibility, intestinal morphology and carcass traits of broiler chickens fed dry, wet and fermented-wet feed / O.S. Akinola, A.O. Onakomaiya, J.A. Agunbiade [et al.] // Livestock Science. – 2015. – Vol. 177. – P. 103–109.

270. Grzegrzolka B. Correlations between egg weight, early embryonic development, and some hatching characteristics of Japanese quail (Coturnix japonica)

/ B. Grzegrzolka, J. Gruszczyńska // Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences. – 2019. – Vol. 43, No. 2. – P. 253-258. – DOI 10.3906/vet-1803-63. – EDN XBJLEO.

271. Gumulka M. Age effect of broiler breeders on fertility and sperm penetration of the perivitelline layer of the ovum / M. Gumulka, E. Kapkowska // Animal Reproduction Science. – 2005. – Vol. 90. – P. 135-148.

272. Hamdy A.M.M. Effects of air humidity during incubation and age after hatch on heat tolerance of neonatal male and female chicks / A.M.M. Hamdy, W.V.D. Hel, A.M. Henken [et al.] // Poultry Science. – 1991. – Vol. 70. – P. 1499-1506.

273. Hassan G.M. Effect of egg size and heterozygosis on embryonic growth and hatching speed / G.M. Hassan, A.W. Nordskog // Genetics. – 1971. – Vol. 67. – P. 279-285.

274. Hatching distribution of eggs varying in weight and breeder age / S. Vieira, J. Almeida, A. Lima [et al.] // Revista Brasileira de Ciencia Avicola. – 2005. – Vol. 7. – P. 73-78.

275. Horn, R. Промышленные и потребительские применения IR LED / R. Horn // DigiKey Electronics. – 2025. – URL: https://www.digikey.com/ (дата обращения: 12.12.2025).

276. Hornberg A. Handbook of Machine Vision / A. Hornberg. – Wiley-VCH, 2017. – 900 p.

277. Huang, Y. Hybrid Classification-Regression Adaptive Loss for Dense Object Detection / Y. Huang, Liu Wei Zhen, Y. Hao [et al.] // arXiv. – 2024. – arXiv:2408.17182. – URL: https://arxiv.org/abs/2408.17182 (дата обращения: 29.05.2026).

278. Intelligent technologies in poultry farming: a review of smart breeding and precision production / W. Ma, X. Wang, D. Tulpan [et al.] // Computers and Electronics in Agriculture. – 2025. DOI: 10.1016/j.compag.2025.111109.

279. Interrelationships among egg weight, hatchability, chick weight, post-hatch performance and rearing method in broiler breeders / M. Raju, M.M. Chawak,

N.K. Praharaj [et al.] // Indian Journal of Animal Sciences. – 1997. – Vol. 67. – P. 48-50.

280. Johnson M. Deep Neural Networks in Precision Agriculture / M. Johnson, W. Li // Neural Networks. — 2020. — Vol. 129. — P. 190—202. DOI:10.1016/j.neunet.2020.03.005.

281. Kavtarashvili A. Morphological and Chemical Composition of Chicken Eggs as Affected by the Oviposition Time / A. Kavtarashvili, E. Novotorov // Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East: Agricultural Innovation Systems, Volume 2, Ussuriysk, 21–22 июля 2021 года. Vol. 354. – Ussuriysk, 2022. – P. 848-855.

282. Kayadan K. High accuracy gender determination using the egg shape index / K. Kayadan, M. Uzun // Scientific Reports. – 2023. – Vol. 13. – P. 504. – DOI: 10.1038/s41598-023-27772-4.

283. Kbgau.ru: [сайт] / ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В. М. Кокова». – URL: https://kbgau.ru/ (дата обращения: 10.02.2026).

284. Khalid, H. A Deep Dive into Deep Learning and Machine Learning: A Review Study / H. Khalid // Journal of Al-Qadisiyah for Computer Science and Mathematics. – 2025. – Vol. 17, No. 3. – DOI 10.29304/jqcsm.2025.17.32381. – EDN ZLOMZX.

285. Kirk S. Factors affecting the hatchability of eggs from broiler breeders / S. Kirk, G.C. Emmans, R. Mcdonald, D. Arnot // British Poultry Science. – 1980. – Vol. 21. – P. 37-53.

286. Kolanczyk M. Uniform eggs from uniform hens / M. Kolanczyk // Would Poultry. – 2010. – No 7. – P. 14-15.

287. Kostomakhin N. Experience and prospects of the use of precision livestock farming in the Russian Federation / N. Kostomakhin, L. Tseiko, M. Kostomakhin // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 113. – Article 02001.

288. Kumpula B.L. Comparing incubation duration, hatchability, and chick quality parameters of chick from three egg sizes and two modern strains / B.L. Kumpula, G.M. Fasenko // Poultry and Avian Biology Reviews. – 2005. – Vol. 16. – P. 57-58.

289. Ledezma-Diaz J. J. A longitudinal multimodal big data infrastructure for precision poultry monitoring / J. J. Ledezma-Diaz et al. // Frontiers in Big Data. – 2026. – Vol. 9. – Article 1821612.

290. Li X. X. A lightweight model based on knowledge distillation for free-range chickens detection in complex commercial farming environments / X. X. Li, Y. X. Han // Artificial Intelligence in Agriculture. – 2025. – Vol. 12. – P. 4. – DOI: 10.1016/j.aiia.2025.04.001.

291. Metabolizable energy levels for semi-heavy laying hens at the second production cycle / F. G. P. Costa, J. S. Costa, C. C. Goularte [et al.] // Braz. J. Anim. Sci. – 2009. – Vol. 38. – P. 2247–2254.

292. MVTec Software GmbH. Machine Vision Basics and Lighting Techniques. – Munich, 2021. – 85 p.

293. Nadas J. High Intensity Broad Spectrum LEDs in the Near Infrared Range / J. Nadas, V. Rakovics // Materials Science Forum. – 2017. – Vol. 885. – P. 141–146.

294. Nangsuay A. Yolk absorption and embryo development of small and large eggs originating from young and old breeder hens / A. Nangsuay, Y. Ruangpanit, R. Meijerhof // Poultry Sci. – 2011. – No. 90. – P. 2648–2655.

295. Narushin V.G. Egg and math: introducing a universal formula for egg shape / V.G. Narushin, M.N. Romanov, D.K. Griffin // Annals of the New York Academy of Sciences. – 2021. – Vol. 1505, No. 1. – P. 169-177. – DOI:10.1111/nyas.14680.

296. Narushin, V. G. Egg geometry calculation using the measurements of length and breadth / V. G. Narushin // Poultry Science. – 2005. – Vol. 84, No. 3. – P. 482-484. DOI 10.1093/ps/84.3.482. EDN XJQJGB.

297. Oguntunji A. O. Principal Component Analysis of Morphostructural Indices of Noiler Chickens / A. O. Oguntunji, P. B. P. Widya, F. V. Ajala // Scientific Papers Animal Science and Biotechnologies. – 2021. – Vol. 54, No. 2. – C. 95-101.

298. Olsson D. Wireless Communication in Smart Farming Applications / D. Olsson, K. Reddy // Ad Hoc Networks. – 2020. – Vol. 104. – P. 102155. – DOI:10.1016/j.adhoc.2019.102155.

299. Panagi P. Poultry Farm Intelligence: An Integrated Multi-Sensor AI Platform for Enhanced Welfare and Productivity / P. Panagi, S. Karatsiolis, K. Mosphilis [et al.] // arXiv preprint arXiv:2510.15757. – 2025.

300. Period of incubation and posthatching holding time influence on broiler performance / J.G. Almeida, S.L. Vieira, B.B. Gallo [et al.] // Revista Brasileira de Ciencia A vicola. – 2006. – Vol. 8. – P. 153-158.

301. Petersime [Электронный ресурс]: [официальный сайт]. – URL: http://www.petersime.com/ (дата обращения: 15.02.2026).

302. PoulTrans: a transformer-based model for accurate poultry condition assessment // Scientific Reports. – 2025. – Vol. 15, art. 14064. – DOI: 10.1038/s41598-025-98078-w.

303. Progress and trends of non-contact detection methods for poultry growth information: A review / X. He, H. Xue, Yu. Jia [et al.] // Poultry Science. – 2025. – Vol. 104, No. 9. – P. 105281. – DOI 10.1016/j.psj.2025.105281. – EDN ZMPYTV.

304. Relationship between broiler breeder's age and egg weight loss and embryonic mortality during incubation in large-scale conditions / K. Tona, F. Bamelis, W. Coucke [et al.] // Journal of Applied Poultry Research. – 2001. – Vol. 10. – P. 221-227.

305. Romanyk H.M. Quality indicators of eggs of Lohmann Brown and Lohmann Sandy crossbreeds / H.M. Romanyk, V. V. Fedorovych // Scientific and Technical Bulletin of State Scientific Research Control Institute of Veterinary Medical Products and Fodder Additives and Institute of Animal Biology. - 2020. –

Vol.21. – No. 1. – P. 162-167. – DOI 10.36359/scivp.2020-21-1.21. – EDN OR-PDNJ.

306. Ruiz J. Ultrastructural analysis of the eggshell: contribution of the individual calcified layers and the cuticle to hatchability and egg viability in broiler breeders / J. Ruiz, C.A. Lunam // Br. Poult. Sci. - 2000. - V. 41, No. 5. - P. 584-592. – DOI: 10.1080/713654975.

307. Scanes C. G. Reproductive management of poultry / C. G. Scanes, L. D. Butler, M. T. Kidd // Animal Agriculture. – Academic Press, 2020. – P. 349–366.

308. Scienceforum.ru: [сайт]. – URL: https://scienceforum.ru/ (дата обращения: 5.02.2026).

309. sinto-tech.rurutube.ru: [сайт] – URL: sinto-tech.rurutube.ru / RUTUBE. – URL: http://sinto-tech.rurutube.ru (дата обращения: 31.05.2026).

310. Steger C. Machine Vision Algorithms and Applications / C. Steger, M. Ulrich, C. Wiedemann // Wiley-VCH. – 2018. – 528 p.

311. Stoyanov K. Digitisation and blockchain adoption in Bulgarian animal farms / K. Stoyanov // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 149. – Article 01040. – DOI: 10.1051/bioconf/202414901040.

312. Synthetic Data Augmentation for Enhanced Chicken Carcass Instance Segmentation / Yi. Feng, Ch. Palleria, X. Lin [et al.] // arXiv. – 2025. – arXiv:2507.18558. – DOI:10.48550/arXiv.2507.18558.

313. Tao Y. Imaging and pattern recognition methods for feather sex separation of broiler chicks / Y. Tao, J. Walker // Transactions of the ASAE. – 2000. – Vol. 43, No. 2. – P. 461–467.

314. Taylor R. Advances in Internet of Things for Animal Monitoring / R. Taylor, N. Gupta // IEEE Internet of Things Journal. – 2020. – Vol. 7, No. 11. – P. 10455-10463. DOI:10.1109/JIOT.2020.2994751.

315. The day-old chick: a crucial hinge between breeders and broilers / E. Decuypere, K. Tona, V. Bruggeman [et al.] // World's Poultry Science Journal. – 2001. – Vol. 57. – P. 127-138.

316. 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. – EDN QBCYOB. (G.A. Bobyleva, J. Poultry farming 4, 4-11 (2005).

317. 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.] // В сборнике: International scientific and practical conference “from modernization to rapid development: ensuring competitiveness and scientific leadership of the agro-industrial complex” (idsisa 2024).les ulis, 2024. - С. 01033.

318. Toksoz C. Chicken egg sexing by using data mining process / C. Toksoz, M. Albayrak, H. Yasar // Fresenius environmental bulletin. – 2021. – Vol. 30, No. 2. – P. 1373–1381.

319. Using Artificial Intelligence to Improve Poultry Productivity – A Review / H. M. Taleb, A. J. Mahdi, S. M. Abdulateef [et al.] // Annals of Animal Science. – 2025. – P. 23–33. – DOI: 10.2478/aoas-2024-0039.

320. Wang L. Digital chicken models could improve poultry productivity / L. Wang // WATTPoultry. – February 2025.

321. Ways to solve automation problems in meat poultry farming / B. Efendiev, V. Shuganov, Z. Kantiev [et al.] // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 130. – Article 05007.

322. Wilson H. R. Physiological requirements of the developing embryo: temperature and turning / H. R. Wilson // Avian Incubation: сборник / edited by S. G. Tullet. – London: Butterworth-Heinemann Ltd., 1991. – P. 145-156.

323. Wiseman B. K. Evaluation of the radiative properties of a dispersed particulate medium for construction material applications / B. K. Wiseman, J. A. Khan // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2003. – Vol. 46, No. 12. – P. 2291–2303.

324. Wu Z. Research on machine vision online monitoring system for egg production and quality in cage environment / Z. Wu, H. Zhang, C. Fang // Poultry Science. – 2025. – Vol. 104, No. 1. – DOI: 10.1016/j.psj.2024.104784.

325. Yang S. X. Review of computer vision for livestock body conformation assessment / S. X. Yang, Y. Han, W. Ma [et al.] // Agriculture Communications. – 2025. – Vol. 3, No. 1. – P. 100099. – DOI: 10.1016/j.agrcom.2025.100099.

326. Yunusova, O. Yu. The effectiveness of feeding laying hens in the conditions of a poultry farm / O. Yu. Yunusova, L. V. Sycheva // , 07 февраля 2024 года, 2024. – P. 148-151. – EDN NXJBZK.

327. zenyer.ru: [сайт] / ZENYER Россия. – URL: https://zenyer.ru (дата обращения: 20.04.2026).

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А1 – Показатели нормирования рационов для ремонтного молодняка кросса «Ломанн Браун Классик»

Показатели нормирования, %	**Стартовый период**	**Ростовой период**	**«Девелопер**	**Предкладковый период**
возраст, недель	**0-5**	**6-10**	**11-17**	**17 до 5% яйценоскости**
Обменная энергия, МДж/100 г	1,12	1,14-	1,14	1,14
Сырой протеин	20,0	18,5	14,5	17,5
Лизин	1,15	0,94	0,64	0,84
Метионин	0,48	0,40	0,34	0,36
Метионин + цистин	0,86	0,75	0,54	0,76
Триптофан	0,23	0,21	0,16	0,20
Кальций	1,05	1,00	0,90	2,00
Фосфор усвояемый	0,48	0,45	0,37	0,40
Натрий	0,18	0,17	0,16	0,16
Хлор	0,20	0,19	0,16	0,16
Витамин А, тыс. МЕ	12,0	12,0	12,0	10,0
Витамин D3, тыс. МЕ	2,0	2,0	2,0	2,5
Витамин Е, мг	20-30	20-30	20-30	15-30
Витамин $К_3$, мг	3,0	3,0	3,0	3,0
Витамин В1, мг	1,0	1,0	1,0	1,0
Витамин В2, мг	6,0	6,0	6,0	4,0
Витамин В4, мг	300	300	300	400
Витамин В5, мг	8,0	8,0	8,0	10,0
Витамин В6, мг	3,0	3,0	3,0	3,0
Витамин В12, мкг	20,0	20,0	20,0	25,0
Витамин Н, мг	0,5	0,5	0,5	0,5
Селен, мг	0,20	0,20	0,20	0,20
Цинк, мг	60	60	60	60
Железо, мг	25	25	25	25
Медь, мг	5	5	5	5

Таблица А2– Показатели нормирования рационов для ремонтного молодняка кросса «Браун Ник»

Показатели нормирования, %	**Стартовый период**	**Ростовой период**	**«Девелопер**	**Предкладковый период**
возраст, недель	**0-5**	**6-10**	**11-17**	**17 до 5% яйце-носкости**
Обменная энергия, МДж/100 г	1,18-1,23	1,14-1,19	1,08-1,15	1,14
Сырой протеин	20,0-19,0	18,0-17,0	14,5-15,5	17,5
Лизин	1,18	1,01	0,66	0,84
Метионин	0,52	0,46	0,31	0,42
Метионин + цистин	0,88	0,81	0,56	0,76
Триптофан	0,23	0,21	0,16	0,18
Кальций	1,05	1,00	0,90	2,00
Фосфор усвояемый	0,45	0,41	0,37	0,40
Натрий	0,18	0,17	0,16	0,16
Хлор	0,18	0,17	0,16	0,16
Витамин А, тыс. МЕ	10,0	10,0	10,0	10,0
Витамин D3, тыс. МЕ	2,0	2,0	2,0	2,5
Витамин Е, мг	20-30	20-30	20-30	15-30
Витамин К3, мг	3,0	3,0	3,0	3,0
Витамин В1, мг	1,0	1,0	1,0	1,0
Витамин В2, мг	6,0	6,0	6,0	4,0
Витамин В4, мг	300	300	300	400
Витамин В5, мг	8,0	8,0	8,0	10,0
Витамин В6, мг	3,0	3,0	3,0	3,0
Витамин В12, мкг	15,0	15,0	15,0	15,0
Витамин Н, мг	0,5	0,5	0,5	0,5
Селен, мг	0,25	0,25	0,25	0,25
Цинк, мг	60	60	60	60
Железо, мг	25	25	25	25
Медь, мг	5	5	5	5

Таблица А3 – Показатели нормирования рационов для ремонтного молодняка кросса «Корал»

Показатели нормирования, %	**Стартовый период**	**Ростовой период**	**«Девелопер**	**Предкладковый период**
возраст, недель	**0-5**	**6-10**	**11-17**	**17 до 5% яйценоскости**
Обменная энергия, МДж/100 г	1,18-1,23	1,14-1,19	1,08-1,15	1,14
Сырой протеин	20,0-19,0	18,0-17,0	14,5-15,5	17,5
Лизин	1,18	0,97	0,62	0,84
Метионин	0,52	0,44	0,29	0,42
Метионин + цистин	0,88	0,78	0,52	0,76
Триптофан	0,23	0,20	0,15	0,18
Кальций	1,05	1,00	0,90	2,00
Фосфор усвояемый	0,48	0,45	0,37	0,40
Натрий	0,18	0,17	0,16	0,16
Хлор	0,20	0,17	0,16	0,16
Витамин А, тыс. МЕ	10,0	10,0	10,0	10,0
Витамин D3, тыс. МЕ	2,0	2,0	2,0	2,5
Витамин Е, мг	20-30	20-30	20-30	15-30
Витамин $К_3$, мг	3,0	3,0	3,0	3,0
Витамин В1, мг	1,0	1,0	1,0	1,0
Витамин В2, мг	6,0	6,0	6,0	4,0
Витамин В4, мг	300	300	300	400
Витамин В5, мг	8,0	8,0	8,0	10,0
Витамин В6, мг	3,0	3,0	3,0	3,0
Витамин В12, мкг	15,0	15,0	15,0	15,0
Витамин Н, мг	0,5	0,5	0,5	0,5
Селен, мг	0,25	0,25	0,25	0,25
Цинк, мг	60	60	60	60
Железо, мг	25	25	25	25
Медь, мг	5	5	5	5

Таблица А4 – Показатели нормирования рационов для ремонтного молодняка кросса «Супер Ник»

Показатели нормирования, %	**Стартовый период**	**Ростовой период**	**«Девелопер**	**Предкладковый период**
возраст, недель	**0-5**	**6-10**	**11-17**	**17 до 5% яйценоскости**
Обменная энергия, МДж/100 г	1,18-1,23	1,14-1,19	1,08-1,15	1,14
Сырой протеин	20,0-19,0	18,0-17,0	14,5-15,5	17,5
Лизин	1,15	0,94	0,64	0,84
Метионин	0,51	0,42	0,30	0,42
Метионин + цистин	0,86	0,75	0,54	0,76
Триптофан	0,22	0,20	0,15	0,18
Кальций	1,05	1,00	0,90	2,00
Фосфор усвояемый	0,48	0,45	0,37	0,40
Натрий	0,18	0,17	0,16	0,16
Хлор	0,20	0,18	0,16	0,16
Витамин А, тыс. МЕ	10,0	10,0	10,0	10,0
Витамин D3, тыс. МЕ	2,0	2,0	2,0	2,5
Витамин Е, мг	20-30	20-30	20-30	15-30
Витамин $К_3$, мг	3,0	3,0	3,0	3,0
Витамин В1, мг	1,0	1,0	1,0	1,0
Витамин В2, мг	6,0	6,0	6,0	4,0
Витамин В4, мг	300	300	300	400
Витамин В5, мг	8,0	8,0	8,0	10,0
Витамин В6, мг	3,0	3,0	3,0	3,0
Витамин В12, мкг	15,0	15,0	15,0	15,0
Витамин Н, мг	0,5	0,5	0,5	0,5
Селен, мг	0,25	0,25	0,25	0,25
Цинк, мг	60	60	60	60
Железо, мг	25	25	25	25
Медь, мг	5	5	5	5

Таблица А5 – Рецепты комбикормов и их питательность при выращивании ремонтного молодняка птицы разных кроссов

Состав комбикорма, %	**Стартовый период**	**Ростовой период**	**«Девелопер»**	**Предкладковый период**
возраст, недель	**0-5**	**6-10**	**11-17**	**17 до 5% яйценоскости**
Пшеница	60	61,3	64,9	60,00
Соя полножирная, СП 34%	24,4	14,8	-	-
Ячмень	-	-	15,0	11,3
Шрот подсолнечный, СП 36%, СК 19%	7	15	8,4	11,3
Мука травяная (люцерна), СП16%	-	0,8	4,9	2,0
Мука мясокостная, СП 50%	3	3,5	2,0	4,9
Масло подсолнечное	-	-	0,2	0,5
Известняковая мука	0,6	0,6	0,6	4,0
БМВД 4% Тетра для кур-несушек	5,0	4,0	4,0	6,0
Показатели качества, %				
Обменная энергия, МДж/100 г	1,179	1,133	1,078	1,138
Сырой протеин	21,14	20,90	15,15	17,23
Сырая клетчатка	4,88	5,91	6,92	7,44
Лизин	1,25	1,09	0,74	0,96
Метионин	0,58	0,54	0,45	0,57
Метионин + цистин	0,93	0,90	0,74	0,88
Триптофан	0,26	0,25	0,18	0,21
Кальций	1,06	1,01	0,90	2,54
Фосфор усвояемый	0,49	0,46	0,37	0,49
Натрий	0,22	0,20	0,18	0,28
Хлор	0,23	0,20	0,20	0,29
Витамин А, тыс. МЕ	12,50	10,00	10,00	15,00
Витамин D3, тыс. МЕ	3,75	3,00	3,00	4,50
Витамин Е, мг	37,50	30,00	30,00	45,00
Витамин $К_3$, мг	3,75	3,00	3,00	4,50
Витамин В1, мг	1,25	1,00	1,00	1,50
Витамин В2, мг	6,25	5,00	5,00	7,50
Витамин В4, мг	532,50	426,00	426,00	639,00
Витамин В5, мг	40,15	32,12	32,12	48,18
Витамин В6, мг	4,38	3,50	3,50	5,25
Витамин В12, мг	35	28	28	42
Витамин Н, мг	0,54	1,45	1,45	1.51
Селен, мг	0,25	0,20	0,20	0,30
Цинк, мг	60,0	48,00	48,00	72,00
Железо, мг	24,00	24,00	24,00	36,00
Медь, мг	4,00	4,00	4,00	6,00

Таблица А6 – Показатели нормирования рационов для кур и петухов родительского стада

Показатели нормирования, %	**Фаза 1 с 5 % яйценоскости по 40 неделю**	**Фаза 2 с 41 по 60 неделю**	**Фаза 3 с 61 недели и старше**
Обменная энергия, МДж/100 г	1,14	1,14	1,14
Сырой протеин	15,6	14,7	13,9
Линолевая кислота	1,74	1,39	0,87
Лизин	0,75	0,74	0,74
Метионин	0,38	0,38	0,38
Метионин + цистин	0,69	0,68	0,68
Триптофан	0,16	0,16	0,16
Кальций	3,57	3,74	3,91
Фосфор усвояемый	0,38	0,33	0,30
Натрий	0,16	0,16	0,16
Хлор	0,16	0,16	0,16
Витамин А, тыс. МЕ	12,5	12,5	12,5
Витамин D3, тыс. МЕ	3,0	3,0	3,0
Витамин Е, мг	30	30	30
Витамин К, мг	3,0	3,0	3,0
Витамин В1, мг	2,5	2,5	2,5
Витамин В2, мг	6,0	6,0	6,0
Витамин В3, мг	20,0	20,0	20,0
Витамин В4, мг	600,0	600,0	600,0
Витамин В5, мг	40,0	40,0	40,0
Витамин В6, мг	6,0	6,0	6,0
Витамин В12, мг	0,025	0,025	0,025
Витамин Вс, мг	1,2	1,2	1,2
Витамин Н, мг	0,25	0,25	0,25
Селен, мг	0,2	0,2	0,2
Цинк, мг	70	70	70
Железо, мг	30	30	30

Таблица А7 – Рецепты комбикормов и их питательность для родительского стада птицы

Состав комбикорма, %	**Фаза 1 с 5 % яйценоскости по 40 неделю**	**Фаза 2 с 41 по 60 неделю**	**Фаза 3 с 61 недели и старше**
Пшеница	50,07	48,0	50,625
Ячмень	5,0	4,0	2,05
Отруби пшеничные	1,102	4,99	5,43
Шрот подсолнечный	20,0	19,08	18,6
Горох	7,0	7,22	7,01
Масло подсолнечное	3,4	2,9	2,004
Кормовой концентрат лизина	0,388	0,29	0,231
DL-метионин	0,17	0,15	0,12
Известняковая мука	7,28	7,53	7,9
Ракушечная мука	3,17	3,5	3,7
Монокальцийфосфат	1,13	1,03	1,0
Соль поваренная	0,09	0,10	0,11
Сода пищевая	0,20	0,21	0,22
Премикс собственного производства	1,0	1,0	1,0
Показатели качества, %			
Обменная энергия, МДж/100 г	1,005	0,98	0,98
Сырой протеин	16,51	16,29	16,14
Сырой жир	4,79	4,39	3,5
Сырая клетчатка	5,74	5,85	5,76
Линолевая кислота	1,43	1,37	1,21
Лизин	0,85	0,77	0,72
Метионин	0,45	0,43	0,40
Метионин + цистин	0,72	0,68	0,65
Триптофан	0,19	0,19	0,19
Кальций	3,69	3,86	4,03
Фосфор усвояемый	0,4	0,38	0,38
Натрий	0,14	0,14	0,15
Хлор	0,17	0,16	0,15
Витамин А, тыс. МЕ	12,5	12,5	12,5
Витамин D3, тыс. МЕ	7,0	7,0	7,0
Витамин Е, мг	60,0	60,0	60,0
Витамин К, мг	3,0	3,0	3,0
Витамин В1, мг	2,5	2,5	2,5
Витамин В2, мг	7,5	7,5	7,5
Витамин В3, мг	20,0	20,0	20,0
Витамин В4, мг	84,0	84,0	84,0
Витамин В5, мг	40,0	40,0	40,0
Витамин В6, мг	6,0	6,0	6,0
Витамин В12, мг	0,025	0,025	0,025
Витамин Вс, мг	2,0	2,0	2,0
Витамин Н, мг	0,15	0,15	0,15
Цинк, мг	31,2	31,2	31,2
Железо, мг	15,4	15,4	15,4
Селен, мг	0,06	0,06	0,06

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

«СОГЛАСОВАНО»
Проректор по научной работе и
стратегическому развитию ФГБОУ ВО
Удмуртский ГАУ
доктор с.-х. наук, профессор
С.И. Коконов
«10» 12 2024 г.

«УТВЕРЖДАЮ»
Директор ООО
«Сарапульская птицефабрика»
г. Сарапул
Удмуртской Республики
Г.Ф. Анаников
«17» 12 2024 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ
результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских
и технологических работ в высших учебных заведениях

Заказчик ***Общество с ограниченной ответственностью «Сарапульска птицефабрика» г. Сарапул Удмуртской Республики***
(наименование организации)
Г.Ф. Анаников
(Ф.И.О. руководителя организации)

Настоящим актом подтверждается, что результаты работы по теме ***«Новы подходы в разработке и обосновании методов и алгоритмов повышения уровн эффективности воспроизводства сельскохозяйственной птицы» № 23-26 00184,***
(наименование темы, № гос. регистрации)

выполненной ***федеральным государственным образовательным учреждением высшего образования Удмуртский ГАУ***
(наименование вуза, НИИ, КБ)

стоимостью ***150 000 руб. (Сто пятьдесят тысяч рублей) 00 копеек***
(цифрами и прописью)
выполняемой в ***2023-2024 г.г.***
(сроки выполнения)

внедрены в ***ООО «Сарапульская птицефабрика» г. Сарапул Удмуртско Республики***
(наименование предприятия, где осуществлялось внедрение)

1. Вид внедренных результатов ***разработка приемов определения морфометрических параметров и качественных показателей пищевых яиц***

(эксплуатация изделия, работы, технологии); производство (изделия, работы, технологии)

2. Характеристика масштаба внедрения ***серийное***
(уникальное, единичное, партия, опытное, массовое, серийное

3. Форма внедрения: ***новые технологии***

Рисунок Б1 – Акт внедрения рещультатов НИР на предприятии ООО «Сарапульская птицефабрика г. Сарапул Удмуртской Республики

Методика (метод): ***новые методы, математическая модель оценк морфометрических показателей пищевых яиц и при отборе куриных яиц дл инкубации***

4. Новизна результатов научно-исследовательских работ:
качественно-новые
(принципиально-новые, качественно-новые, модификация старых разработок)

Внедрено:

в цех содержания промышленного стада кур, цех сортировки яиц

5. Экономический эффект от внедрения НИОКР: ***ежегодный дополнительный доход предприятия составит 9450000 руб. (Девять миллионов четыреста пятьдесят тысяч рублей) 00 копеек***

От вуза
Декан факультета
Хардина Е.В.

Руководитель НИР
Батанов С.Д.

От предприятия

Ответственный за внедрение,
главный зоотехник
Давыдова Е.А.

Продолжение рисунка Б1

«СОГЛАСОВАНО»
Проректор по научной работе и стратегическому развитию ФГБОУ ВО Удмуртский ГАУ
доктор с.-х. наук, профессор
С.И. Коконов
«19» 08 2024 г.

«УТВЕРЖДАЮ»
Директор ООО «Племптицесовхоз «Увинский»» Увинского района Удмуртской Республики
Е.И. Шкарупа
«19» 08 2024 г

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ в высших учебных заведениях

Заказчик ***Общество с ограниченной ответственностью «Племптицесовхоз «Увинский»» Увинского района Удмуртской Республики***
(наименование организации)
Е.И. Шкарупа
(Ф.И.О. руководителя организации)

Настоящим актом подтверждается, что результаты работы по теме ***«Новые подходы в разработке и обосновании методов и алгоритмов повышения уровня эффективности воспроизводства сельскохозяйственной птицы» № 23-26-00184.***
(наименование темы, № гос. регистрации)

выполненной ***федеральным государственным образовательным учреждением высшего образования Удмуртский ГАУ***
(наименование вуза, НИИ, КБ)

стоимостью ***150 000 руб. (Сто пятьдесят тысяч рублей) 00 копеек***
(цифрами и прописью)

выполняемой в ***2023-2024 г.г.***
(сроки выполнения)

внедрены в ***ООО «Племптицесовхоз «Увинский»» Увинского района Удмуртской Республики***
(наименование предприятия, где осуществлялось внедрение)

1. Вид внедренных результатов ***разработка приемов определения пола цыплят на ранней стадии развития эмбриона до инкубации яиц***
(эксплуатация изделия, работы, технологии); производство (изделия, работы, технологии)

2. Характеристика масштаба внедрения ***серийное***
(уникальное, единичное, партия, опытное, массовое, серийное)

3. Форма внедрения: ***новые технологии***

Рисунок Б2 – Акт внедрения рещультатов НИР на предприятии ООО «Племптицесовхоз «Увинский» Увинского района Удмуртской Республики»

Методика (метод): ***новые методы, математическая модель оценки морфометрических показателей пищевых яиц и при отборе куриных яиц для инкубации***

4. Новизна результатов научно-исследовательских работ:
качественно-новые
(принципиально-новые, качественно-новые, модификация старых разработок)

Внедрено:

в цех содержания родительского стада, цех инкубации куриных яиц

5. Экономический эффект от внедрения НИОКР: ***ежегодный дополнительный доход предприятия составит 15250000 руб. (Пятнадцать миллионов двести пятьдесят тысяч рублей) 00 копеек***

От вуза
Декан факультета
Хардина Е.В.

Руководитель НИР
Батанов С.Д.

От предприятия

Ответственный за внедрение,
зам. директора по производству и
реализации племенной продукции
Маркова Т.В.

Продолжение рисунка Б2

ПРИЛОЖЕНИЕ В



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2829563

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЯИЦ

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Удмуртский государственный аграрный университет" (RU)*

Авторы: *Батанов Степан Дмитриевич (RU), Баранова Ирина Андреевна (RU), Старостина Ольга Степановна (RU), Анаников Янис Гаврилович (RU), Шкарупа Евгений Иванович (RU), Анаников Гаврил Федорович (RU)*

Заявка № **2023126322**
Приоритет изобретения **13 октября 2023 г.**
Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации **31 октября 2024 г.**
Срок действия исключительного права
на изобретение истекает **13 октября 2043 г.**

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

Рисунок В1 – Патент Способ определения марфометрических параметров яиц



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2769731

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧИСЛОВЫХ ЗНАЧЕНИЙ ЭКСТЕРЬЕРА ЖИВОТНЫХ

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Ижевская государственная сельскохозяйственная академия" (RU)*

Авторы: *Батанов Степан Дмитриевич (RU), Баранова Ирина Андреевна (RU), Старостина Ольга Степановна (RU)*

Заявка № **2020127145**
Приоритет изобретения **12 августа 2020 г.**
Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации **05 апреля 2022 г.**
Срок действия исключительного права
на изобретение истекает **12 августа 2040 г.**

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

Рисунок В2 – Патент Способ определения числовых значений экстрьера животных