

Гуйван В.В.

кандидат сельскохозяйственных
наук, доцент, доцент
кафедры гигиены животных
Витебской государственной
академии ветеринарной медицины
(г. Витебск, Беларусь)

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ МИКРОКЛИМАТОМ ПТИЦЕВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПРЕДИКТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ

Обеспечение оптимальных параметров микроклимата является фундаментальным условием реализации генетического потенциала современных кроссов сельскохозяйственной птицы. Высокая скорость метаболизма бройлеров и кур-несушек делает их чрезвычайно чувствительными к колебаниям температуры, влажности и газового состава воздуха. Традиционные автоматизированные системы управления микроклиматом (АСУ ТП), базирующиеся на ПИД-регуляторах (пропорционально-интегрально-дифференцирующих) и жесткой логике «если-то», часто оказываются недостаточно эффективными в условиях динамически меняющихся внешних факторов и инерционности больших объемов воздуха в птичнике. Основная проблема классического подхода – его реактивность: система начинает корректирующее воздействие (включение вентиляторов, открытие приточных клапанов) только после того, как отклонение параметра уже произошло и было зафиксировано датчиком. В условиях резких суточных перепадов температур или аварийных ситуаций такая задержка может привести к тепловому стрессу, холодовому шоку или накоплению вредных газов, нанося непоправимый ущерб здоровью стада. Переход к Индустрии 4.0 в сельском хозяйстве предполагает внедрение интеллектуальных систем управления, основанных на предиктивной аналитике и моделях машинного обучения (ML), способных прогнозировать состояние среды и действовать на опережение [1, 2].

Архитектура интеллектуальной системы управления микроклиматом строится на непрерывном сборе и анализе гетерогенных данных. Входными параметрами служат не только показания внутренних датчиков (температура, влажность, CO_2 , NH_3 , скорость движения воздуха, статическое давление), но и внешние данные: прогноз погоды с локальных метеостанций, возраст и живая масса птицы, график кормления и световой режим. Все эти факторы влияют на теплопродукцию и влаговыделение стада, которые являются ключевыми нагрузками на систему вентиляции. Использование алгоритмов машинного обучения, таких как градиентный бустинг (XGBoost, LightGBM) или искусственные нейронные сети (ANN), позволяет выявлять скрытые нелинейные зависимости между этими переменными и строить высокоточные прогностические модели [3, 4].

Суть предиктивного управления (Model Predictive Control, MPC) заключается в том, что алгоритм рассчитывает оптимальную траекторию управляющих воздействий на определенный горизонт планирования (например, на 1–2 часа вперед), минимизируя функцию потерь, которая включает в себя отклонение параметров микроклимата от целевых значений и энергопотребление. Например, зная прогноз о резком повышении внешней температуры через час и учитывая текущую теплопродукцию птицы, система может заранее плавно увеличить уровень вентиляции или запустить предварительное охлаждение (pre-cooling), чтобы сгладить температурный пик внутри помещения. Это позволяет избежать резких скачков микроклимата, которые являются сильным стрессом для птицы, и одновременно оптимизировать работу оборудования, предотвращая его частые включения/выключения и снижая износ [5].

Особое место в этой парадигме занимают технологии «Цифровых двойников» (Digital Twins). Цифровой двойник птичника – это виртуальная физико-математическая модель, которая в режиме реального времени зеркалирует состояние реального объекта. Она объединяет в себе данные вычислительной гидродинамики (CFD – Computational Fluid Dynamics) и термодинамические модели теплообмена птицы. CFD-моделирование позволяет визуализировать воздушные потоки внутри помещения, выявляя «мертвые зоны»

с застоем воздуха или зоны сквозняков, которые невозможно обнаружить одним точечным датчиком. Интеграция CFD с ML позволяет создать упрощенные суррогатные модели, которые работают быстро и могут использоваться контроллером для принятия решений в реальном времени. Например, система может рассчитать, как изменится распределение аммиака в зоне обитания птицы при открытии приточных форточек на определенный угол, и выбрать оптимальную конфигурацию вентиляции для обеспечения равномерности воздушной среды [6, 7].

Важнейшим аспектом интеллектуального управления является адаптивность. Потребности птицы в тепле и свежем воздухе меняются нелинейно по мере ее роста. Классические контроллеры требуют ручной корректировки уставок технологом, что чревато ошибками. ML-алгоритмы способны обучаться на исторических данных конкретного птичника, адаптируясь к его конструктивным особенностям (герметичность, теплоизоляция) и специфике оборудования. Обучение с подкреплением (Reinforcement Learning) – перспективное направление, где агент управления (ИИ) учится управлять микроклиматом методом проб и ошибок в виртуальной среде цифрового двойника, находя стратегии, недоступные человеческой логике, например, сложные комбинации работы туннельной и крышной вентиляции для экономии электроэнергии при сохранении комфорта [8].

Внедрение предиктивных систем также решает задачи энергоэффективности. Вентиляция и отопление составляют львиную долю энергозатрат птицефабрики. Оптимизационные алгоритмы позволяют находить баланс между качеством воздуха и расходом энергоресурсов. Например, допустимое кратковременное повышение уровня CO_2 (в пределах зоогигиенических норм) в ночное время может позволить снизить воздухообмен и сэкономить теплоноситель в зимний период. Предиктивная аналитика также позволяет реализовать предиктивное обслуживание оборудования (Predictive Maintenance): анализируя токи потребления вентиляторов или графики изменения температуры, система может предсказать выход из строя подшипника или заклинивание заслонки до того, как произойдет авария [9, 10].

Переход от реактивного управления к предиктивному на базе ИИ и цифровых двойников является эволюционным скачком в зоогигиене. Это позволяет не просто поддерживать заданные параметры, а создавать персонализированную среду обитания, максимально соответствующую физиологическим потребностям птицы в каждый момент времени. Результатом становится повышение сохранности поголовья, улучшение конверсии корма, снижение ветеринарных затрат и существенная экономия энергоресурсов, что в совокупности повышает рентабельность и устойчивость птицеводческого бизнеса.

Информационные источники

1. Medicinal plants: A source of phytobiotics for the feed additives / S. Ivanova, S. Sukhikh, A. Popov [et al.] // Journal of Agriculture and Food Research. – 2024. – Vol. 16. – P. 101172. – DOI 10.1016/j.jafr.2024.101172.

2. Вerezубова Н.А. Благополучие отрасли птицеводства при регуляции микробиома с помощью искусственного интеллекта / Н.А. Вerezубова, Е.А. Капитонова, А.А. Чекулаев // Ветеринарное благополучие и управление генетическими ресурсами в животноводстве: Сборник трудов 1-й Научно-практической конференции, Москва, 17 октября 2025 года. – Москва: ООО Издательство «Сельскохозяйственные Технологии», 2025. – С. 733–735.

3. Вerezубова Н.А. Применение нейронных сетей в диагностике алиментарных заболеваний сельскохозяйственной птицы / Н.А. Вerezубова, Е.А. Капитонова, А.А. Чекулаев // Ветеринарное благополучие и управление генетическими ресурсами в животноводстве: Сборник трудов 1-й Научно-практической конференции, Москва, 17 октября 2025 года. – Москва: ООО Издательство «Сельскохозяйственные Технологии», 2025. – С. 735–737.

4. Вerezубова Н.А. Применение цифровых технологий в переработке продуктов животного происхождения / Н.А. Вerezубова, И.Н. Вerezубова // Трансформации современного общества: теоретические и практические аспекты: Материалы VII Международной научно-практической конференции, Москва, 24–25 апреля 2025 года. – Москва: Московский институт экономики, политики и права,

2025. – С. 72–75.

5. Вerezубова Н.А. Природные минеральные добавки как фактор повышения продуктивности в современном птицеводстве / Н.А. Вerezубова, Е.А. Капитонова, И.Н. Вerezубова // Ветеринарное благополучие и управление генетическими ресурсами в животноводстве: Сборник трудов 1-й Научно-практической конференции, Москва, 17 октября 2025 года. – Москва: ООО Издательство «Сельскохозяйственные Технологии», 2025. – С. 737–379.

6. Вerezубова Н.А. Умное сельское хозяйство: роль цифровых технологий в развитии аграрного сектора / Н.А. Вerezубова, Н.В. Петракова // Актуальные проблемы ветеринарной медицины, зоотехнии, биотехнологии и экспертизы сырья и продуктов животного происхождения: Сборник трудов 4-й Научно-практической конференции, Москва, 16 мая 2025 года. – Москва: Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА им. К.И. Скрябина, 2025. – С. 611–612.

7. Вerezубова Н.А. Цифровизация предприятий мясной и молочной промышленности: от умных датчиков до цифровых двойников / Н.А. Вerezубова, И.Н. Вerezубова // Современные тенденции в социально-экономическом развитии общества: Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Москва, 11–12 декабря 2025 года. – Москва: Московский институт экономики, политики и права, 2026. – С. 85–88.

8. Голушко В.М. Сравнительный анализ применения биологически активных препаратов и их влияние на качество животноводческой продукции / В.М. Голушко, Е.А. Капитонова // Ученые записки учреждения образования Витебская ордена Знак почета государственная академия ветеринарной медицины. – 2008. – Т. 44, №2-1. – С. 174–177.

9. Капитонова Е.А. Профилактика дисбактериозов / Е.А. Капитонова // Экология и инновации: Материалы VII Международной научно-практической конференции, Витебск, 22–23 июня 2008 года / Витебская государственная академия ветеринарной медицины. – Витебск: Учреждение образования «Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины», 2008. – С. 100–101.

10. Кочиш И.И. Оптимизация минерального питания: влияние микроэлементов на жизненный тонус сельскохозяйственных птиц / И. И. Кочиш, Е.А. Капитонова, Н.А. Вerezубова // Ученые записки учреждения образования Витебская ордена Знак почета государственная академия ветеринарной медицины. – 2025. – Т. 61, №4. – С. 51–55.