 © Авторы статьи / Authors of the article

ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ, ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА/ELECTROTECHNOLOGY, ELECTRICAL EQUIPMENT AND POWER SUPPLY OF THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.172.34 EDN: SRWRVV

К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ УДАЛЁННОГО УПРАВЛЕНИЯ И МОНИТОРИНГА

Научная статья

Маркеев В.А.[1, *], Коваленко О.Ю.[2]
[1] ORCID : 0009-0001-2925-3410;
[1, 2] Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, Саранск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (markeev.vladimir74[at]gmail.com)

Предложена: 17.08.2026; Принята: 21.09.2026; Опубликована: 16.10.2026

Аннотация

Рассмотрены вопросы построения информационной системы удалённого управления и мониторинга микроклимата животноводческого помещения. Выполнен обзор зарубежных и отечественных исследований по системам мониторинга и управления, показавший, что развитие идёт по пути наращивания числа измеряемых величин и алгоритмов обработки, тогда как связь состава функций системы с формой задания зоогигиенического норматива и с метрологическим статусом получаемых данных не рассматривается. Впервые предложено включить в состав управляемых величин суточную накопленную экспозицию по нормируемым газам, что позволяет обнаруживать нарушение условий содержания до достижения нормативного предела. Впервые предложено разделять систему на контур оперативного управления и контур документируемого учёта по признаку метрологического статуса средств измерений, что обеспечивает юридическую значимость архива при сокращении числа поверяемых приборов. Сформулирован перечень требований к системе и приведён алгоритм её работы На модельном суточном ходе концентрации аммиака показано, что предложенное решение формирует предупреждение за 8 ч до исчерпания суточного норматива.

Ключевые слова: микроклимат, животноводческое помещение, система мониторинга и управления, точное животноводство, накопленная экспозиция, средства измерений, поверка.

ON THE DEVELOPMENT OF INFORMATION SYSTEMS FOR REMOTE CONTROL AND MONITORING

Research article

Markeev V.A.[1, *], Kovalenko O.Y.[2]
[1] ORCID : 0009-0001-2925-3410;
[1, 2] National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russian Federation

* Corresponding author (markeev.vladimir74[at]gmail.com)

Suggested: 17.08.2026; Accepted: 21.09.2026; Published: 16.10.2026

Abstract

The issues surrounding the development of an information system for the remote control and monitoring of the microclimate in livestock housing are examined. A review of international and domestic research on monitoring and control systems has been carried out, showing that developments are moving towards increasing the number of measured parameters and processing algorithms, while the relationship between the system’s functional composition and the form of zoohygienic standards, as well as the metrological status of the data obtained, is not being considered. For the first time, it is suggested to include the daily cumulative exposure to regulated gases among the controlled parameters, which makes it possible to detect breaches of husbandry conditions before the regulatory limit is reached. For the first time, it is proposed to divide the system into an operational control loop and a documented recording loop based on the metrological status of the measuring instruments, which ensures the legal validity of the archive whilst reducing the number of instruments requiring verification. A list of system requirements has been formulated and an algorithm for its operation has been provided. Using a model of daily ammonia concentration levels, it has been demonstrated that the suggested solution generates a warning 8 hours before the daily limit is reached.

Keywords: microclimate, livestock housing, monitoring and control system, precision livestock farming, cumulative exposure, measuring instruments, calibration.

Введение

Разработка информационных систем удалённого управления и мониторинга в животноводстве связана не только с автоматизацией отдельных операций, но и с переходом хозяйств к более точному управлению производственной средой. На государственном уровне это соответствует курсу на цифровую трансформацию агропромышленного комплекса до 2030 г. [1]. Отрасль экономически значима: по данным Росстата, в 2025 г. на продукцию животноводства

 © Авторы статьи / Authors of the article

пришлось около 4,76 трлн руб. [2]. Устойчивость производства во многом зависит от управляемости внутренних технологических условий, прежде всего микроклимата и вентиляции.

Целью работы является определение состава требований к системе удалённого управления и мониторинга микроклимата животноводческого помещения и обоснование архитектурных и алгоритмических решений, обеспечивающих их выполнение.

1.1. Состояние вопроса

Направление, в рамках которого развиваются системы мониторинга и управления в животноводстве, оформилось за рубежом как точное животноводство (precision livestock farming). Основы подхода сформулированы Д. Беркмансом: непрерывное автоматическое наблюдение за состоянием животных и среды рассматривается как инженерная задача управления процессом, а не как средство сбора статистики [3]. Развитие подхода применительно к свиноводству показано в работе Э. Вранкена и Д. Беркманса, где описаны промышленно применяемые контуры измерения и управления и отмечено, что узким местом остаётся не измерение как таковое, а интерпретация непрерывного потока данных [4]. С. Нитираджан и Б. Кемп рассматривают цифровое животноводство как совокупность сенсорных, сетевых и аналитических технологий, подчёркивая проблему доверия к данным недорогих датчиков при их массовом применении [5].

Масштаб направления показан в наукометрическом обзоре Б. Цзяна и соавторов, где по базе Web of Science прослежен рост числа публикаций и выделены основные тематические ядра, среди которых управление средой содержания занимает устойчивое место [6]. Обзор Г. Папаконстантину и соавторов рассматривает технологии точного животноводства применительно к благополучию животных и климатическим изменениям и фиксирует, что основные усилия направлены на расширение перечня измеряемых величин и на алгоритмы их обработки [7].

В отечественных работах то же направление представлено более узко и ближе к практике проектирования. Р. М. Ильиным и С. В. Вторыго обоснованы параметры системы мониторинга микроклимата в животноводческих помещениях, определены перечень контролируемых величин и требования к размещению точек измерения [8]. Предложена графическая информационная модель состояния микроклимата, позволяющая оценивать распределение параметров по зонам помещения, а не только их значения в точках установки приборов [9]. В. Г. Борулько и Д. А. Понизовкин приводят принципиальную схему автоматизированной системы управления микроклиматом и аналитические выражения для определения рационального количества оборудования принудительной вентиляции [10]. А. А. Величков и соавторы рассматривают системы контроля параметров микроклимата и качества воздуха на свинофермах [11]. Необходимость таких систем подтверждается натурными обследованиями, фиксирующими устойчивый выход параметров за нормируемые пределы в холодный период [12], [13].

Сопоставление перечисленных работ показывает общую логику развития: состав функций системы определяется перечнем измеряемых величин, а совершенствование идёт по пути увеличения их числа и усложнения обработки. При этом два вопроса остаются вне рассмотрения. Первый: форма, в которой задан сам зоогигиенический норматив, не используется как источник требований к системе, хотя часть показателей нормируется не мгновенным значением, а с ограничением по длительности воздействия. Второй: не анализируется метрологический статус получаемых данных, от которого зависит, могут ли они служить документальным подтверждением условий содержания животных.

Научная новизна работы состоит в следующем. Впервые предложено включить в состав управляемых величин системы суточную накопленную экспозицию по каждому нормируемому газу, вычисляемую как суммарная за сутки длительность превышения предельного значения; это позволяет обнаруживать нарушение условий содержания до того, как нормативный предел будет исчерпан, тогда как известные решения [8], [10], [11] реагируют на факт превышения. Впервые предложен принцип разделения системы на контур оперативного управления и контур документируемого учёта по признаку метрологического статуса применяемых средств измерений; это позволяет сохранить доказательную силу архива при сокращении числа поверяемых приборов до нескольких реперных точек, тогда как в известных решениях все измерительные каналы рассматриваются как равнозначные.

1.2. Требования к системе

На основе действующей нормативной базы и сформулированных положений новизны определён следующий перечень требований.

Т1. Система должна непрерывно измерять температуру, относительную влажность, скорость движения воздуха и концентрации аммиака и углекислого газа. Источник требования: ветеринарно-санитарные требования к животноводческим помещениям [14], устанавливающие нормируемые значения этих показателей.

Т2. Система должна хранить ряд измерений и вычислять суточную накопленную экспозицию по каждому нормируемому газу. Источник требования: форма задания норматива: предельные значения содержания аммиака 20 мг/м³, сероводорода 10 мг/м³ и пыли 6 г/м³ отнесены к кратковременному, в течение пяти часов в сутки, состоянию воздушной среды [14], поэтому мгновенное значение концентрации само по себе не позволяет судить о соблюдении требований.

Т3. Система должна формировать предупреждение при достижении накопленной экспозицией заданной доли нормативного предела, а не только при выходе мгновенного значения за уставку.

Т4. Контур регулирования должен сохранять работоспособность при недоступности внешнего канала связи. Источник требования: характер объекта: прекращение воздухообмена в закрытом помещении приводит к последствиям в течение часов.

Т5. При конфликте целей управления приоритет отдаётся жизнеобеспечению, а не энергосбережению. Источник требования: совместное действие норм по газовому составу и по температуре в холодный период.

Т6. Измерения, используемые для документального подтверждения условий содержания, должны выполняться средствами измерений утверждённого типа, прошедшими поверку. Источник требования: Федеральный закон № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» [15].

 © Авторы статьи / Authors of the article

Т7. Архив должен быть непрерывным: при восстановлении связи накопленные данные передаются с сохранением исходных меток времени.

Основные результаты

2.1. Архитектура системы

Система строится как многоуровневый программно-аппаратный комплекс. Согласно ГОСТ Р 70924-2023, системы Интернета вещей связывают физические объекты с ИТ-системами через сети, а датчики и исполнительные устройства используются для получения данных о среде и воздействия на неё [16]. Терминологическую основу задаёт ГОСТ Р 59853-2021, разделяющий функции автоматизированных систем на информационные и управляющие [17].

Компоненты системы сгруппированы в четыре уровня (см. рис. 1). Полевой уровень объединяет измерительные преобразователи и исполнительные механизмы. Уровень локального управления образует контроллер, размещённый в здании: он опрашивает датчики, реализует базовые законы регулирования и ведёт собственный журнал, чем выполняются требования Т4 и Т7. Коммуникационный уровень включает шлюз и канал связи с сервером; для объектов с ограниченной сетевой инфраструктурой применимы сети LoRaWAN, ориентированные, согласно ГОСТ Р 71168-2023, на обмен данными с приборами и датчиками при низких требованиях к пропускной способности и автономной работе устройств до 10 лет и более [18]. Прикладной уровень объединяет базу данных, аналитический модуль, вычисляющий накопленную экспозицию по Т2, и интерфейс оператора.

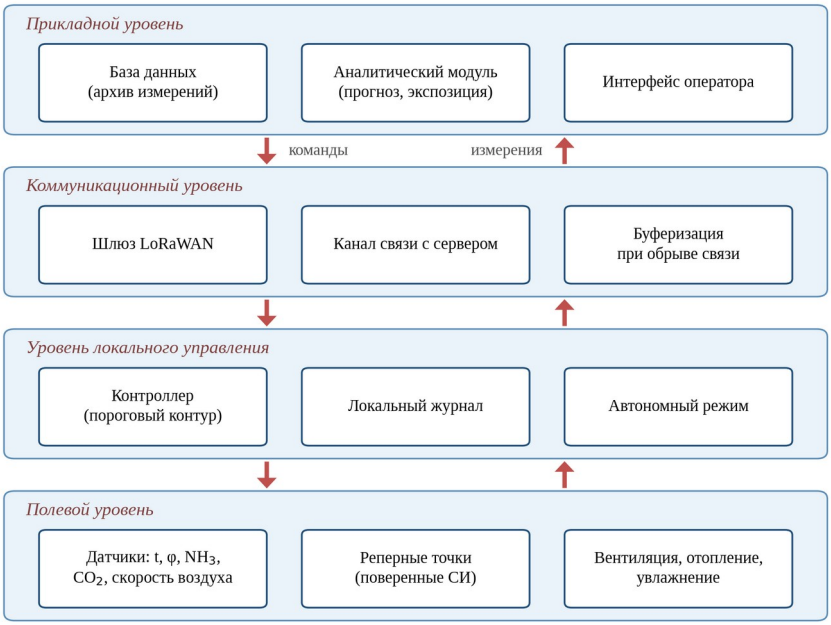

Рисунок 1 - Структура системы удалённого мониторинга
и управления микроклиматом животноводческого помещения
DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.172.34.1

2.2. Алгоритм работы системы

Алгоритм выполняется циклически с периодом Δt и представлен на рис. 2 в виде схемы по ГОСТ 19.701-90. Последовательность действий следующая.

 © Авторы статьи / Authors of the article

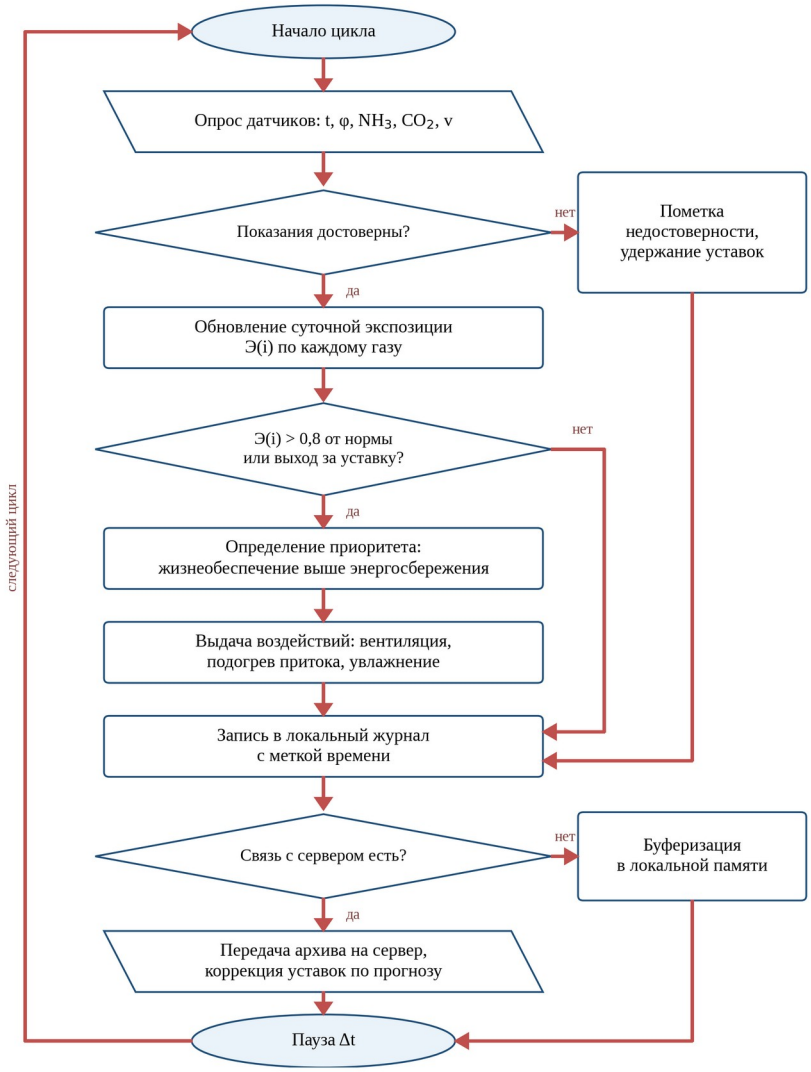

Рисунок 2 - Схема алгоритма работы системы
DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.172.34.2

Шаг 1. Опрос датчиков полевого уровня и получение текущих значений температуры, относительной влажности, концентраций аммиака и углекислого газа, скорости движения воздуха.

Шаг 2. Проверка достоверности показаний по признакам выхода за диапазон измерения, обрыва линии и отсутствия изменения значения дольше заданного времени. Недостоверное показание помечается и не участвует в расчёте экспозиции, регулирование продолжается по последним подтверждённым уставкам. Это исключает ситуацию, при которой отказ датчика воспринимается как нулевая концентрация.

Шаг 3. Обновление суточной накопленной экспозиции. Для каждого нормируемого газа накопленная экспозиция увеличивается на Δt, если текущая концентрация превышает предельное значение, и не изменяется в противном случае. Накопление ведётся в пределах суток с обнулением в заданный час.

Шаг 4. Сравнение с условиями срабатывания. Управляющее воздействие формируется, если текущее значение вышло за уставку либо накопленная экспозиция достигла заданной доли нормативного предела (принято 0,8). Если ни одно из условий не выполнено, уставки не изменяются.

Шаг 5. Разрешение конфликта целей. В холодный период увеличение воздухообмена, необходимое для снижения концентрации аммиака, приводит к падению температуры внутреннего воздуха. Согласно Т5, приоритет отдаётся жизнеобеспечению: увеличивается подача приточного воздуха с одновременным включением подогрева, а не блокируется вентиляция.

Шаг 6. Выдача воздействий на вентиляционное, отопительное и увлажнительное оборудование. Пороговое регулирование выполняется с зоной нечувствительности: без гистерезиса оборудование при колебаниях параметра вблизи уставки переходит в режим частых пусков, что повышает удельное энергопотребление.

Шаг 7. Запись результатов измерения и выданных воздействий в локальный журнал с меткой времени.

Шаг 8. Передача накопленных данных на сервер при наличии связи и приём скорректированных уставок, рассчитанных по прогнозу на прикладном уровне. При отсутствии связи данные буферизуются в локальной памяти и передаются после восстановления канала с сохранением исходных меток времени, чем обеспечивается выполнение Т7.

 © Авторы статьи / Authors of the article

2.3. Пример расчёта накопленной экспозиции

Для иллюстрации предложенного решения рассмотрен модельный суточный ход концентрации аммиака в зоне размещения животных, принятый с учётом характера технологических операций: утренний и вечерний подъёмы связаны с уборкой навоза и раздачей кормов. Шаг дискретизации принят равным одному часу, предельное значение 20 мг/м³, суммарная допустимая длительность превышения 5 ч в сутки [14], порог предупреждения 0,8 от предела, то есть 4 ч. Результаты приведены на рис. 3.

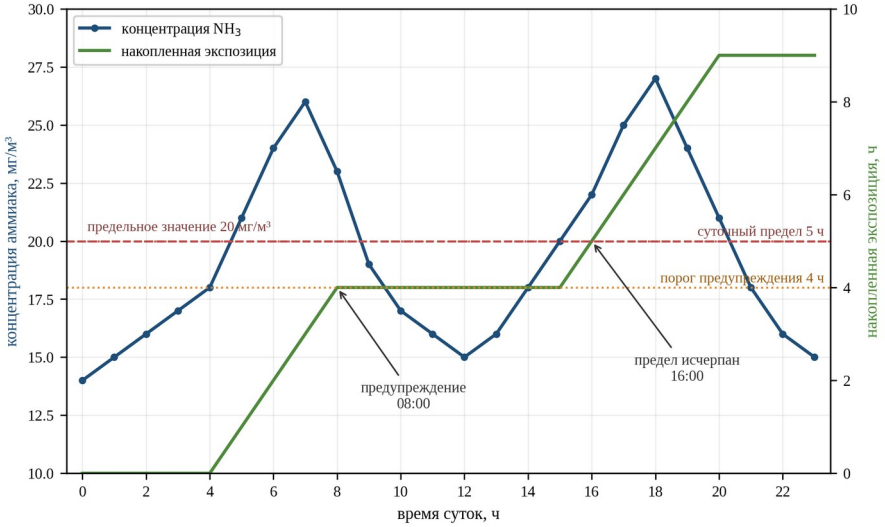

Рисунок 3 - Суточный ход концентрации аммиака и накопленная экспозиция

DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.172.34.3

Превышение предельного значения наблюдается в двух интервалах, с 05:00 до 08:00 и с 16:00 до 20:00, суммарная длительность за сутки составляет 9 ч при допустимых 5 ч, то есть условия содержания нарушены. Накопленная экспозиция достигает порога предупреждения в 08:00, а нормативный предел исчерпывается в 16:00. Таким образом, предупреждение формируется за 8 ч до момента, когда суточный лимит оказывается выбран, и у персонала остаётся время на вмешательство в течение всего дневного интервала, когда концентрация находится ниже предельного значения.

Пороговая схема управления, применяемая в известных решениях [10], [11], в этом же случае срабатывает четырежды, в моменты выхода концентрации за уставку, и каждый раз отрабатывает локально: включает вентиляцию и возвращает параметр в норму. Суточный баланс при этом не отслеживается, и факт нарушения условий содержания становится известен только по итогам суток при анализе архива, если такой анализ вообще выполняется. Разница между двумя схемами состоит не в точности измерения и не в алгоритме регулирования, а в составе управляемых величин: введение накопленной экспозиции переводит контроль из режима реакции на событие в режим прогноза исчерпания норматива.

2.4. Метрологическое обеспечение и разграничение контуров

Выполнение требования Т6 достигается разделением системы на два контура. Контур оперативного управления допускает недорогие распределённые датчики: их задача выявить отклонение и включить оборудование, требования к абсолютной погрешности здесь умеренные. Контур документируемого учёта строится на ограниченном числе реперных точек, оснащённых средствами измерений утверждённого типа с действующей поверкой, и именно его данные попадают в отчётные формы.

Такое разделение снимает противоречие между стоимостью системы и доказательной силой её данных. Оснащение поверенными приборами каждой точки измерения для малых и средних хозяйств экономически недоступно, а отказ от поверенных приборов полностью лишает архив юридического значения. Дополнительно контур учёта служит опорой для периодической проверки исправности недорогих датчиков по расхождению показаний, что связано с проблемой доверия к данным, отмеченной в [5].

Обсуждение

Отличие предложенных решений от рассмотренных работ состоит в источнике требований. В исследованиях [8], [10], [11], как и в зарубежных работах [4], [7], состав функций системы выводится из перечня параметров воздушной среды, и совершенствование связывается с расширением этого перечня и усложнением обработки. Здесь дополнительным источником требований выступает форма записи норматива. Ограничение по длительности воздействия, содержащееся в [14], означает, что мгновенное значение концентрации не позволяет судить о соблюдении требований, и система обязана вести расчёт накопленной экспозиции. Практическое следствие состоит в переходе от реакции на состоявшееся превышение к предупреждению до исчерпания нормативного предела.

Второе отличие связано с метрологическим обеспечением. В известных работах датчики рассматриваются как технические средства, характеризуемые диапазоном и погрешностью; вопрос доверия к данным ставится, но решается

 © Авторы статьи / Authors of the article

средствами калибровки и обработки [5]. Предлагаемое разграничение контуров переносит этот вопрос в правовую плоскость: часть измерительных каналов получает статус, позволяющий использовать их данные при ветеринарном и производственном контроле, остальные остаются технологическими.

Ограничением работы является отсутствие экспериментальной проверки на действующем объекте. Предложенные решения обоснованы аналитически, исходя из содержания нормативных документов и результатов натурных обследований других авторов [12], [13].

Заключение

Поставленная цель достигнута. Определён перечень требований к системе удалённого управления и мониторинга микроклимата животноводческого помещения, включающий семь позиций, для каждой из которых указан источник. Обосновано, что требования Т2 и Т3 вытекают из формы задания норматива, требования Т4 и Т7 из характера объекта, требование Т6 из правового режима измерений.

Обосновано, что выполнение этих требований обеспечивается четырёхуровневой архитектурой, в которой локальный контроллер сохраняет работоспособность независимо от внешнего канала, и приведённым алгоритмом, включающим проверку достоверности показаний, накопление суточной экспозиции и разрешение конфликта целей управления в пользу жизнеобеспечения. Научная новизна состоит во введении накопленной экспозиции в состав управляемых величин и в разделении системы на контур оперативного управления и контур документируемого учёта по метрологическому признаку. На модельном суточном ходе концентрации аммиака показано, что при суммарной длительности превышения 9 ч и допустимых 5 ч предупреждение формируется в 08:00, тогда как суточный предел исчерпывается в 16:00, то есть запас времени на вмешательство составляет 8 ч. Дальнейшая работа связана с экспериментальной проверкой предложенных решений на действующем животноводческом объекте и оценкой фактического снижения энергозатрат.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации отраслей агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года : распоряжение Правительства Российской Федерации от 23.11.2023 № 3309-р. — URL: http://government.ru (дата обращения: 02.06.2026).

2. Росстат отметил рост производства сельхозпродукции в 2025 году на 4,9% // Интерфакс. — 2026. — URL: https://www.interfax.ru (дата обращения: 02.06.2026).

3. Berckmans D. Precision livestock farming technologies for welfare management in intensive livestock systems / D. Berckmans // Revue Scientifique et Technique (International Office of Epizootics). — 2014. — Vol. 33. — № 1. — P. 189–196. — DOI 10.20506/rst.33.1.2273.

4. Vranken E. Precision livestock farming for pigs / E. Vranken, D. Berckmans // Animal Frontiers. — 2017. — Vol. 7. — Iss. 1. — P. 32–37. — DOI 10.2527/af.2017.0106.

5. Neethirajan S. Digital livestock farming / S. Neethirajan, B. Kemp // Sensing and Bio-Sensing Research. — 2021. — Vol. 32. — Art. 100408.

6. Jiang B. Precision livestock farming research: a global scientometric review / B. Jiang, W. Tang, L. Cui [et al.] // Animals. — 2023. — Vol. 13. — № 13. — Art. 2096. — DOI 10.3390/ani13132096.

7. Papakonstantinou G.I. Precision livestock farming technology: applications and challenges of animal welfare and climate change / G.I. Papakonstantinou, N. Voulgarakis, G. Terzidou [et al.] // Agriculture. — 2024. — Vol. 14. — № 4. — Art. 620.

8. Ильин Р.М. Обоснование параметров системы мониторинга микроклимата в животноводческих помещениях / Р.М. Ильин, С.В. Вторый // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. — 2017. — № 92. — С. 212–217.

9. Вторый В.Ф. Графическая информационная модель состояния микроклимата в коровнике / В.Ф. Вторый, С.В. Вторый, Е.О. Ланцова // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. — 2016. — № 89. — С. 183–189.

10. Борулько В.Г. Автоматизация систем управления микроклиматом животноводческих помещений / В.Г. Борулько, Д.А. Понизовкин // Аграрная наука. — 2020. — Т. 3. — № 3. — С. 96–98. — DOI: 10.32634/0869-8155-2020-336-3-96-98.

11. Величков А.А. Системы контроля параметров микроклимата и качества воздуха на свинофермах / А.А. Величков, А.П. Козловцев, В.А. Шахов [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. — 2024. — № 2 (106). — С. 148–154.

12. Вторый В.Ф. Влияние погодных условий на формирование температурно-влажностного режима в коровнике / В.Ф. Вторый, В.В. Гордеев, С.В. Вторый [и др.] // Вестник ВНИИМЖ. — 2016. — № 3 (23). — С. 68–72.

13. Горлов И.Ф. Микроклимат животноводческих помещений и энергосберегающие технологии его обеспечения в зимний период / И.Ф. Горлов, С.В. Корниенко, А.Ю. Груздо [и др.] // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. — 2025. — № 5 (83). — С. 475–487. — DOI: 10.32786/2071-9485-2025-05-53.

14. РД-АПК 3.10.07.05-17. Ветеринарно-санитарные требования при проектировании, строительстве, реконструкции и эксплуатации животноводческих помещений: утв. Минсельхозом России 23.05.2017. — URL: https://docs.cntd.ru (дата обращения: 02.06.2026).

15. Российская Федерация. Законы. Об обеспечении единства измерений: Федер. закон: [от 26.06.2008 № 102-ФЗ (с изменениями и дополнениями)]. — URL: http://pravo.gov.ru (дата обращения: 02.06.2026).

16. ГОСТ Р 70924-2023. Информационные технологии. Интернет вещей. Типовая архитектура. — Введён 2024-01-01. — URL: https://docs.cntd.ru (дата обращения: 02.06.2026).

17. ГОСТ Р 59853-2021. Информационные технологии. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения: утв. приказом Росстандарта от 19.11.2021 № 1520-ст. — URL: https://docs.cntd.ru (дата обращения: 02.06.2026).

18. ГОСТ Р 71168-2023. Информационные технологии. Интернет вещей. Спецификация LoRaWAN RU. — Введён 2024-07-01. — URL: https://docs.cntd.ru (дата обращения: 02.06.2026).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Ob utverzhdenii strategicheskogo napravlenija v oblasti cifrovoj transformacii otraslej agropromyshlennogo i rybohozjajstvennogo kompleksov Rossijskoj Federacii na period do 2030 goda [On Approval of the Strategic Direction for the Digital Transformation of the Agro-Industrial and Fishery Complexes of the Russian Federation until 2030] : Decree of the Government of the Russian Federation dated 23.11.2023 No. 3309-r. — URL: http://government.ru (accessed: 02.06.2026). [in Russian]

2. Rosstat otmetil rost proizvodstva sel'hozprodukcii v 2025 godu na 4,9% [Rosstat Reports a 4.9% Growth of Agricultural Output in 2025] // Interfaks [Interfax]. — 2026. — URL: https://www.interfax.ru (accessed: 02.06.2026). [in Russian]

3. Berckmans D. Precision livestock farming technologies for welfare management in intensive livestock systems / D. Berckmans // Revue Scientifique et Technique (International Office of Epizootics). — 2014. — Vol. 33. — № 1. — P. 189–196. — DOI 10.20506/rst.33.1.2273.

4. Vranken E. Precision livestock farming for pigs / E. Vranken, D. Berckmans // Animal Frontiers. — 2017. — Vol. 7. — Iss. 1. — P. 32–37. — DOI 10.2527/af.2017.0106.

5. Neethirajan S. Digital livestock farming / S. Neethirajan, B. Kemp // Sensing and Bio-Sensing Research. — 2021. — Vol. 32. — Art. 100408.

6. Jiang B. Precision livestock farming research: a global scientometric review / B. Jiang, W. Tang, L. Cui [et al.] // Animals. — 2023. — Vol. 13. — № 13. — Art. 2096. — DOI 10.3390/ani13132096.

7. Papakonstantinou G.I. Precision livestock farming technology: applications and challenges of animal welfare and climate change / G.I. Papakonstantinou, N. Voulgarakis, G. Terzidou [et al.] // Agriculture. — 2024. — Vol. 14. — № 4. — Art. 620.

8. Il'in R.M. Obosnovanie parametrov sistemy monitoringa mikroklimata v zhivotnovodcheskih pomeshhenijah [Substantiation of the Parameters of a Microclimate Monitoring System in Livestock Buildings] / R.M. Il'in, S.V. Vtoryj // Tehnologii i tehnicheskie sredstva mehanizirovannogo proizvodstva produkcii rastenievodstva i zhivotnovodstva [Technologies and Technical Means of Mechanised Crop and Livestock Production]. — 2017. — № 92. — P. 212–217. [in Russian]

9. Vtoryj V.F. Graficheskaja informacionnaja model' sostojanija mikroklimata v korovnike [A Graphical Information Model of the Microclimate State in a Cowshed] / V.F. Vtoryj, S.V. Vtoryj, E.O. Lancova // Tehnologii i tehnicheskie sredstva mehanizirovannogo proizvodstva produkcii rastenievodstva i zhivotnovodstva [Technologies and Technical Means of Mechanised Crop and Livestock Production]. — 2016. — № 89. — P. 183–189. [in Russian]

10. Borulko V.G. Avtomatizacija sistem upravlenija mikroklimatom zhivotnovodcheskih pomeshhenij [Automation of Climate Control Systems in Livestock Buildings] / V.G. Borulko, D.A. Ponizovkin // Agrarnaja nauka [Agrarian Science]. — 2020. — Vol. 3. — № 3. — P. 96–98. — DOI: 10.32634/0869-8155-2020-336-3-96-98. [in Russian]

11. Velichkov A.A. Sistemy kontrolja parametrov mikroklimata i kachestva vozduha na svinofermah [Systems for Monitoring Microclimate Parameters and Air Quality at Pig Farms] / A.A. Velichkov, A.P. Kozlovcev, V.A. Shahov [et al.] // Izvestija Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Proceedings of the Orenburg State Agrarian University]. — 2024. — № 2 (106). — P. 148–154. [in Russian]

12. Vtoryj V.F. Vlijanie pogodnyh uslovij na formirovanie temperaturno-vlazhnostnogo rezhima v korovnike [The Influence of Weather Conditions on the Temperature and Humidity Regime in a Cowshed] / V.F. Vtoryj, V.V. Gordeev, S.V. Vtoryj [et al.] // Vestnik VNIIMZh [Bulletin of VNIIMZh]. — 2016. — № 3 (23). — P. 68–72. [in Russian]

13. Gorlov I.F. Mikroklimat zhivotnovodcheskih pomeshhenij i jenergosberegajushhie tehnologii ego obespechenija v zimnij period [Microclimate of Livestock Buildings and Energy-Saving Technologies for Its Maintenance in Winter] / I.F. Gorlov, S.V. Kornienko, A.Ju. Gruzdo [et al.] // Izvestija Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa [Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex]. — 2025. — № 5 (83). — P. 475–487. — DOI: 10.32786/2071-9485-2025-05-53. [in Russian]

14. RD-APK 3.10.07.05-17. Veterinarno-sanitarnye trebovanija pri proektirovanii, stroitel'stve, rekonstrukcii i jekspluatacii zhivotnovodcheskih pomeshhenij [Veterinary and Sanitary Requirements for the Design, Construction, Reconstruction and Operation of Livestock Buildings]: approved by the Ministry of Agriculture of Russia on 23.05.2017. — URL: https://docs.cntd.ru (accessed: 02.06.2026). [in Russian]

 © Авторы статьи / Authors of the article

15. Rossiiskaya Federatsiya. Zakoni. Ob obespechenii edinstva izmerenij [Russian Federation. Laws. On Ensuring the Uniformity of Measurements]: Federal Law: [dated 26.06.2008 No. 102-FZ (as amended)]. — URL: http://pravo.gov.ru (accessed: 02.06.2026). [in Russian]

16. GOST R 70924-2023. Informacionnye tehnologii. Internet veshhej. Tipovaja arhitektura [Information Technology. Internet of Things. Reference Architecture]. — Introduced 2024-01-01. — URL: https://docs.cntd.ru (accessed: 02.06.2026). [in Russian]

17. GOST R 59853-2021. Informacionnye tehnologii. Kompleks standartov na avtomatizirovannye sistemy. Avtomatizirovannye sistemy. Terminy i opredelenija [Information Technology. Set of Standards for Automated Systems. Automated Systems. Terms and Definitions]: approved by Rosstandart order dated 19.11.2021 No. 1520-st. — URL: https://docs.cntd.ru (accessed: 02.06.2026). [in Russian]

18. GOST R 71168-2023. Informacionnye tehnologii. Internet veshhej. Specifikacija LoRaWAN RU [Information Technology. Internet of Things. LoRaWAN RU Specification]. — Introduced 2024-07-01. — URL: https://docs.cntd.ru (accessed: 02.06.2026). [in Russian]