

Научная статья
УДК 636.4:612.014 ; 636.4:619:614.9
DOI: 10.66783/2782-3172.2026.27.1.017

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ НА СВИНОВОДЧЕСКИХ ФЕРМАХ

Виталий Юрьевич Соколов¹, Андрей Петрович Козловцев¹, Павел Николаевич Вылегжанин²,
Александр Анатольевич Величков³

¹Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

²Вятский государственный агротехнологический университет, Киров, Россия

³Компания «ОВК. Инженерные системы», Оренбург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Андрей Петрович Козловцев, ap_kozlovcev@mail.ru

Аннотация

В статье рассматривается проблема оптимизации параметров микроклимата на свиноводческих предприятиях, выступающая в качестве ключевого фактора повышения продуктивности и сохранности поголовья. Выполнен анализ современных подходов к автоматизации животноводческих помещений. Разработана и обоснована архитектура экономически ориентированной интеллектуальной системы контроля микроклимата и качества воздуха, реализованной на базе микрокомпьютера Raspberry Pi и программного обеспечения с открытым исходным кодом. Отличительной особенностью предлагаемой системы является возможность интеграции существующего инженерного оборудования (систем отопления и вентиляции) в единый комплекс, обеспечивающий централизованное управление микроклиматом. Предусмотрена масштабируемость системы посредством подключения дополнительных датчиков и исполнительных устройств. Функционал системы также включает управление циклами автоматической мойки и дезинфекции помещений, что является обязательным условием при подготовке секций к вводу нового поголовья. Приведен детализированный алгоритм управления, учитывающий категории животных, концентрацию вредных газов (NH_3 , CO_2 , H_2S) и температурно-влажностные параметры. В ходе имитационного моделирования подтверждена работоспособность разработанного алгоритма в составе спроектированной автоматизированной системы, обеспечивающей поддержание температурного режима в заданных пределах. Система реализует управление несколькими обособленными помещениями, каждое из которых оснащено индивидуальным комплектом датчиков и исполнительных устройств. Экспериментальная апробация на лабораторной установке подтвердила корректность функционирования предложенных алгоритмов как в режиме стабилизации температуры, так и в режиме аварийного реагирования при превышении пороговых значений концентрации CO_2 . На основании полученных результатов обоснована целесообразность внедрения разработанной системы на объектах малого и среднего фермерского хозяйства с перспективой масштабирования для крупных животноводческих комплексов.

Ключевые слова: интеллектуальные системы управления, микроклимат, автоматизация свиноводства, алгоритмы регулирования, качество воздуха, тепловой стресс, энергоэффективность

Финансирование: исследование, на основе результатов которого написана данная статья, финансировалось за счет собственных средств авторов

INTELLIGENT SYSTEM OF MICROCLIMATE CONTROL FOR PIG FARMS

Vitaly Yu. Sokolov¹, Andrey P. Kozlovtssev¹, Pavel N. Vylegzhanin², Alexander A. Velichkov³

¹Orenburg State University, Orenburg, Russia

²Vyatka State Agrotechnological University, Kirov, Russia

³OVK. Engineering Systems Company, Orenburg, Russia

Corresponding author: Andrey P. Kozlovtssev, ap_kozlovcev@mail.ru

Abstract

The article discusses the problem of optimizing the microclimate parameters in pig farms, which is the key factor in increasing productivity and preserving livestock. The article analyzes modern approaches to the automation of livestock facilities. The authors have also developed and justified the architecture of an economically oriented intelligent microclimate and air quality control system based on the microcomputer “Raspberry Pi” and open-source software. The distinctive feature of the proposed system is its ability to integrate existing engineering equipment (heating and ventilation systems) into a single complex that provides centralized microclimate control. The system is scalable by the means of connecting additional sensors and actuators. The system's functionality also includes the control of automatic cleaning and disinfection cycles in the premises, which is essential for preparing the sections for the introduction of new livestock. The authors provide a detailed control algorithm, taking into account the categories of animals, the concentration of harmful gases (NH₃, CO₂, H₂S), and temperature and humidity parameters. The developed algorithm has been tested in an automated system that maintains the temperature within the specified limits. During the simulation modeling, the operability of the developed algorithm as part of the designed automated system, ensuring the maintenance of the temperature regime within the specified limits, has been confirmed. The system implements the control of several separate rooms, each of which is equipped with an individual set of sensors and actuators. Experimental testing on a laboratory setup has confirmed the correct functioning of the proposed algorithms both in the temperature stabilization mode and in the emergency response mode when the CO₂ concentration exceeds the threshold values. Based on the obtained results, the feasibility of implementing the developed system in small and medium-sized farms has been substantiated, with the potential for scaling it to large livestock complexes.

Keywords: intelligent control systems, microclimate, pig farming automation, regulation algorithms, air quality, heat stress, and energy efficiency

Funding: the study on which this article is based was funded by the authors' own funds

Введение. Мировое производство свинины стабильно удерживает лидирующие позиции в структуре мясного баланса, а Российская Федерация шестой год подряд обновляет исторические максимумы производства мяса, приблизившись к показателю 5 млн тонн [1], что составляет 41 % в общем объеме производства мяса всех видов. Свиноводство как одна из важнейших отраслей агропромышленного комплекса, имеет специфику функционирования. Заключается это в непрерывности технологических процессов, в отсутствии выходных, перерывов в работе и т. д. Основная доля всего производства принадлежит комплексам «Ферма Луговая», «Черкизово», «Мираторг», «Сибagro». В Оренбургской области – площадка ООО «Вишневоград», которая также вошла в группу «Черкизово».

Интенсификация животноводства и переход к промышленным технологиям содержания обуславливают повышенные требования к условиям среды обитания животных.

Сельскохозяйственной наукой доказано, что доля влияния микроклимата на продуктивность животных и птицы составляет около 25–30 % [2, 3].

Особую значимость проблема поддержания оптимального микроклимата приобретает в свиноводстве ввиду высокой чувствительности животных к отклонениям параметров среды. Как отмечают исследователи, свиньи современных пород отличаются генетически обусловленной высокой продуктивностью, что одновременно является причиной их исключительной чувствительности к воздействию неблагоприятных факторов внешней среды. Потенциальная продуктивность животных из-за неудовлетворительных зоогигиенических условий нередко используется лишь на 70–80 %, ухудшается сохранность молодняка [3–6].

Критическими параметрами, подлежащими непрерывному мониторингу, являются температура воздуха, относительная влажность, скорость воздушных потоков, а также концентрация вредных газов: аммиака (NH_3), диоксида углерода (CO_2) и сероводорода (H_2S). Повышение температуры выше зоны комфорта приводит к снижению потребления корма и, как следствие, прогрессирующему снижению продуктивности [7]. Наиболее опасны для человека, животного и растительного мира оксиды азота, сажа, оксид углерода (CO – угарный газ), углеводороды, альдегиды, бензапирен, оксиды серы, аммиак, диоксид углерода [8].

Особого внимания заслуживает также и проблема теплового стресса. Ввиду отсутствия у свиней функциональных потовых желез (исключение составляет область пяточка) охладить животных значительно труднее, чем обогреть. Тепловой стресс инициирует образование активных форм кислорода, ведущее к окислительному стрессу, повреждению липидов, белков и нуклеиновых кислот, что напрямую отражается на экономической эффективности производства. Наиболее уязвимыми категориями являются свиноматки и свиньи на откорме: с ростом температуры окружающей среды сокращается потребление корма, снижается молочная продуктивность и, как следствие, падают среднесуточные привесы подсосных поросят [9].

Существенную опасность для здоровья животных представляют токсичные компоненты воздушной среды. Сероводород (H_2S) даже при незначительных концентрациях оказывает иммуносупрессивное действие, повышая восприимчивость поголовья к вирусным инфекциям. Превышение предельно допустимых концентраций аммиака (NH_3) и диоксида углерода (CO_2) приводит к развитию респираторных патологий и общему угнетению физиологического состояния животных [3, 4].

Существующие на рынке автоматизированные системы управления микроклиматом, как правило, характеризуются высокой стоимостью, что делает их малодоступными для малых и средних фермерских хозяйств. Кроме того, многие фермы оснащены устаревшим или частичным оборудованием с ручным управлением, интеграция которого в единую автоматизированную систему затруднена. В связи с этим актуальной научно-практической задачей является разработка экономически ориентированных интеллектуальных систем, способных объединять разнородное оборудование и обеспечивать эффективное управление микроклиматом при минимизации капитальных затрат [7, 10].

Целью работы является разработка и экспериментальное обоснование алгоритмов функционирования доступной автоматизированной системы контроля микроклимата и качества воздуха для свиноводческих помещений, базирующейся на открытом программном обеспечении и микрокомпьютерных технологиях.

Материалы и методы исследования. При разработке системы управления первостепенное значение имеют конкретные значения контролируемых параметров. Для свиноводческих помещений регламентируются следующие показатели [2–7, 11]:

1. Температура воздуха дифференцируется в зависимости от возраста и живой массы животных. Для поросят-сосунов массой 2 кг требуется поддержание температуры на уровне 30–32 °С, для отъемышей массой 20 кг – 22–26 °С, для откормочного поголовья массой свыше 110 кг – 11–24 °С.

2. Относительная влажность должна поддерживаться в пределах 65–70 % для большинства категорий животных.
3. Скорость движения воздуха в зоне содержания варьируется сезонно. В зимний период – 0,1 м/с, летом – 0,2 м/с. При повышении температуры выше 22 °С скорость воздуха необходимо увеличивать до 0,5–1,0 м/с.
4. Концентрация вредных газов: NH_3 – не более 20 мг/м³, CO_2 – не более 0,2%, H_2S – не более 10 мг/м³.

Пространственно-планировочная организация свиноводческого комплекса определяется необходимостью раздельного содержания половозрастных групп. Специализация помещений осуществляется в соответствии с технологическим циклом: выделяются зоны для содержания взрослого поголовья, проведения опороса (участки лактации), кормления новорожденных поросят и выращивания ремонтного молодняка. Такой подход обеспечивает реализацию дифференцированных требований к условиям среды обитания животных. Распределение животных по технологическим группам производится согласно установленной классификации [7]. При совместном содержании различных категорий свиней в пределах одного помещения, характеризующегося едиными климатическими условиями, предусмотрена возможность создания пользовательских режимов. Технологический персонал может задавать индивидуальные параметры температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха, соответствующие потребностям конкретной группы. Функционал типового программного обеспечения систем управления микроклиматом также допускает модификацию заводских настроек в соответствии с производственными задачами.

Основным преимуществом разрабатываемой системы является использование экономически ориентированных компонентов. В качестве центрального сервера предложен микрокомпьютер Raspberry Pi 4 под управлением ОС Linux. Программной платформой выбрана система с открытым исходным кодом OpenHAB 3.0, позволяющая реализовать функционал «умного дома» применительно к задачам сельскохозяйственного производства. Аналогичные подходы к построению киберфизических систем на базе Raspberry Pi и OpenHAB успешно апробированы в птицеводстве и демонстрируют высокую эффективность.

Функционал разработанной системы включает мониторинг относительной влажности воздуха, поддержание которой на повышенном уровне является необходимым условием [12]. В связи с этим в летний период предусмотрена возможность активации систем аспирационного охлаждения на базе форсунок низкого давления. Аппаратная архитектура построена по модульному принципу и включает сенсорный уровень, представленный совокупностью измерительных преобразователей: датчиков температуры и влажности (например, DHT22), а также сенсоров концентрации углекислого газа (CO_2), аммиака (NH_3), сероводорода (H_2S) и скорости воздушного потока. Функции сбора данных, логической обработки и формирования управляющих воздействий осуществляется на базе микрокомпьютера Raspberry Pi. В качестве исполнительных устройств необходимо применять управляемые реле и контроллеры для включения/отключения нагревателей, вентиляторов, приводов жалюзи, систем распыления воды и охлаждения.

Разработанный алгоритм управления (рисунок 1) включает в себя выбор помещения, категории животных или режима дезинфекции.

При выборе категории животных, с 1 по 5 согласно классификации поросят по массе, активируется таймер времени, по истечении которого система автоматически инициирует перевод на следующую категорию вплоть до достижения 5-й. Это соответствует естественному росту животных и изменению их потребностей в температурном режиме.

При выборе режима дезинфекции реализуется следующая последовательность:

- цикл увлажнения с использованием распылителей низкого давления;
- период замачивания с максимальной вентиляцией для удаления вредных газов;
- сигнал готовности к ручной уборке и мойке оборудования;

- автоматическое дозирование дезинфицирующего средства через систему увлажнения.

Разработанный алгоритм реализует следующие логические ветвления. Приоритетный контроль загазованности: при превышении пороговых значений $\text{NH}_3 > 5 \text{ ppm}$, $\text{CO}_2 > 2500 \text{ ppm}$ или появлении $\text{H}_2\text{S} > 5 \text{ ppm}$ включается аварийный режим вентиляции. Жалюзи открываются на 100 %, производительность вентиляторов увеличивается, но не более чем в 2 раза относительно нормативной для данной категории, оператору направляется уведомление. Управление температурным режимом – в зависимости от положения текущей температуры относительно граничных значений ($t_{\min}$, $t_{\text{опт}}$, $t_{\max}$). Для каждой зоны определены комбинации состояний жалюзи, вентиляции, отопления, охлаждения и распылителей. Контроль влажности корректирует работу распылителей и систем охлаждения, предотвращая выход за допустимые пределы.

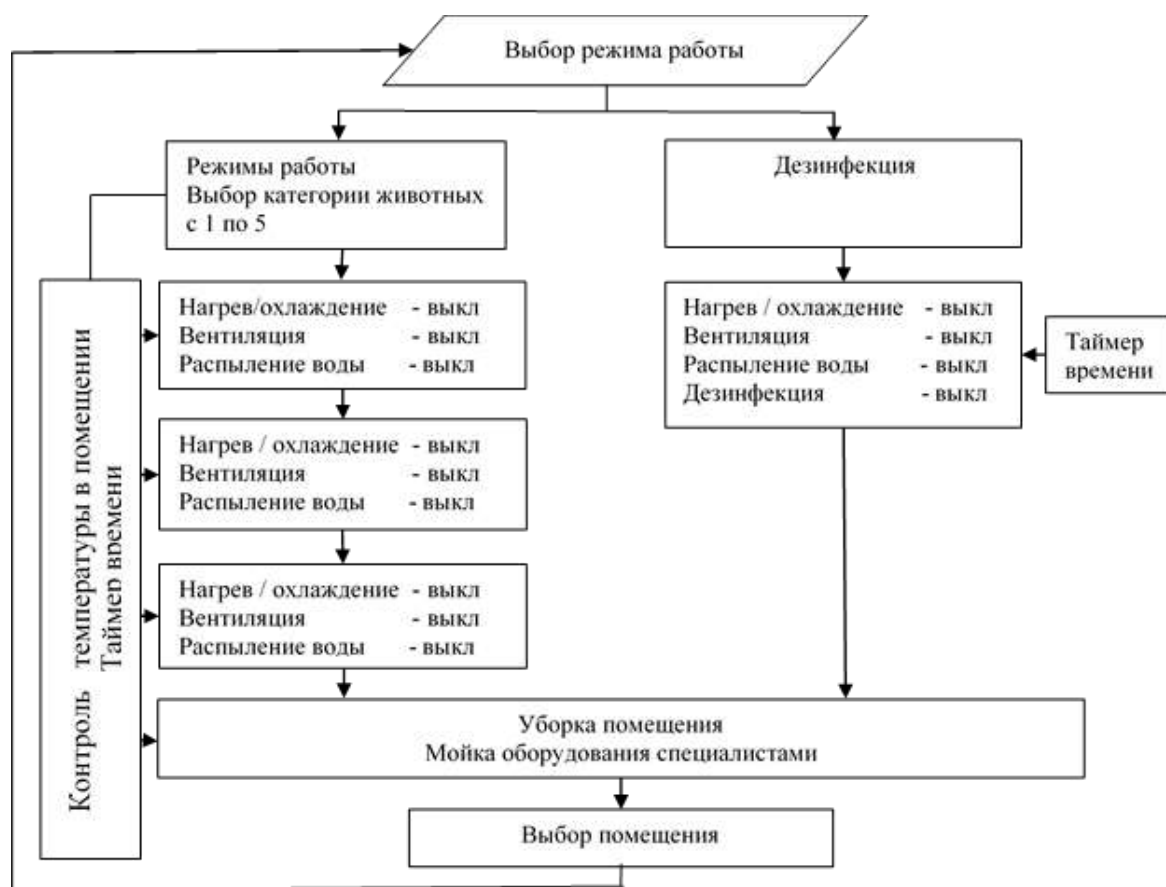


Рисунок 1. Алгоритм управления системой микроклимата

Испытания разработанной системы проводились в лаборатории университета. Экспериментальная установка включала микрокомпьютер Raspberry Pi 4 (сервер), датчики температуры и влажности, датчик CO_2 , электронагреватель с терморегулятором, рекуператор свежего воздуха для имитации принудительной вентиляции и регулируемые оконные проемы с электроприводами для имитации естественной вентиляции.

Температура наружного воздуха в ходе эксперимента была примерно на 15°C ниже требуемых значений поддержания. Для целей исследования таймер переключения категорий был сокращен с 7 дней до 7 часов.

Результаты исследования и их обсуждение. В ходе эксперимента система была настроена на поддержание параметров категории с температурным диапазон $22/24/26^\circ\text{C}$. В начальный момент эксперимента температура воздуха в лабораторном помещении составляла 18°C , что ниже минимально допустимого порога для заданной категории

животных. В соответствии с заложенным алгоритмом система зарегистрировала аварийное отклонение температурного параметра, сформировав и направив электронное уведомление оператору. Исполнительными механизмами были реализованы следующие действия: оконные жалюзи переведены в закрытое положение, система отопления активирована на максимальную мощность, рекуператорная установка включена для обеспечения нормируемого воздухообмена.

При достижении температуры 20 °С (нижняя граница допустимого диапазона) мощность нагревательного элемента была снижена до 50 % посредством терморегулирующего устройства. По достижении оптимального значения 22 °С система полностью деактивировала нагреватель. За счет инерционности процессов температура продолжила незначительный рост до 22,4 °С, после чего начала снижаться. При падении до 21,4 °С нагреватель вновь активировался на 50 % мощности, демонстрируя устойчивый режим автоколебаний в окрестности оптимального значения.

Для проверки реакции на перегрев через 15 минут после выхода на режим в помещении был включен дополнительный, не подключенный к системе нагреватель. При превышении оптимальной температуры на заданный шаг (0,2 °С), т. е. при достижении 24,2 °С, система открыла оконные жалюзи на 30 %, инициировав естественное охлаждение. При дальнейшем росте температуры до 26 °С (максимальный порог) дополнительный нагреватель был отключен вручную, открыто второе окно для интенсификации охлаждения.

В ходе экспериментального исследования по истечении заданного временного интервала таймер инициировал автоматический переход системы в следующую технологическую категорию с регламентируемым температурным диапазоном 17–21 °С (минимальная температура 17 °С, оптимальная 19 °С, максимальная 21 °С). При снижении температуры воздуха до 19,8 °С система привела оконные жалюзи в закрытое положение с целью предотвращения избыточного охлаждения помещения. Дальнейшее понижение температуры до 19,1 °С, что ниже минимального порогового значения для данной категории (17 °С), вызвало повторную активацию системы нагрева (рисунок 2).

Полученные результаты демонстрируют корректную работу алгоритма позиционного регулирования с гистерезисом. Система успешно удерживала температуру в требуемых пределах, своевременно реагируя на внешние возмущения. Применение рекуператора в режиме минимальной вентиляции позволило избежать резких перепадов температуры при обеспечении санитарных норм воздухообмена, что согласуется с выводами исследователей о важности утилизации теплоты выбросного воздуха для снижения энергозатрат.



Рисунок 2. Изменение температуры в ходе проведения лабораторного эксперимента

Результаты экспериментального моделирования позволяют сделать ряд выводов относительно эффективности предложенной системы.

Во-первых, использование открытого программного обеспечения и доступной элементной базы (Raspberry Pi, датчики DHT22, SCD30) подтверждает принципиальную возможность создания экономически эффективных систем управления микроклиматом. Применение интеллектуальной системы, как отмечается в современных исследованиях, позволяет снизить порог входа для малых и средних сельхозпроизводителей без существенной потери функциональности.

Во-вторых, реализованный алгоритм учитывает специфику свиноводческих предприятий: необходимость ручной санитарной обработки перед вводом новых животных, дифференциацию параметров по категориям, автоматическое изменение категорий по таймеру соответственно росту поголовья. Это обеспечивает технологическую гибкость и снижает нагрузку на оператора.

В-третьих, проведенные испытания подтвердили способность системы эффективно управлять несколькими разнородными исполнительными устройствами (нагреватель, вентиляторы, жалюзи), обеспечивая поддержание температуры в заданных пределах и аварийное реагирование на превышение концентрации вредных газов.

Важно отметить, что создание оптимальных параметров микроклимата в животноводческих помещениях является комплексной задачей. Исследователи подчеркивают, что она включает не только регулирование температурно-влажностного режима, но и обеспечение нормативных показателей концентрации вредных веществ, а также учет скорости движения воздуха. Предложенная система, включающая датчики CO₂, NH₃ и H₂S, позволяет комплексно подходить к решению этой задачи.

Перспективным направлением развития системы может стать учет энтальпии воздуха (теплосодержания) как интегрального показателя тепловой нагрузки. Зарубежные исследования последних лет демонстрируют, что мониторинг энтальпии позволяет более точно оценивать термический стресс животных при транспортировке и содержании по сравнению с отдельным учетом температуры и влажности.

Проведенное исследование имеет ряд ограничений. Эксперименты проводились на лабораторной установке, моделирующей лишь часть реальных условий свиноводческого помещения. В натуральных условиях на систему будут воздействовать дополнительные факторы, такие как большая инерционность ограждающих конструкций, тепловыделения от большого количества животных, неравномерность распределения температурных полей и наличие сквозняков и застойных зон.

Кроме того, в эксперименте использовался ограниченный набор датчиков. Промышленная реализация потребует включения датчиков NH₃, H₂S, скорости воздушного потока, а также датчиков температуры на нескольких уровнях помещения (в зоне нахождения животных и под кровлей). Также актуальным является вопрос калибровки и обеспечения долговременной стабильности показаний недорогих датчиков.

Дальнейшие исследования нашей работы будут направлены на апробацию системы в реальных условиях действующего свиноводческого предприятия, разработку и верификацию математической модели теплового баланса помещения, учитывающей теплопоступления от животных, потери через ограждения и энергию вентиляционных потоков, и интеграцию алгоритмов прогнозирования изменений параметров на основе анализа динамики наружного воздуха и активности животных.

Заключение. Проведенное исследование подтверждает актуальность и практическую значимость разработки доступных автоматизированных систем управления микроклиматом для свиноводческих помещений. В условиях, когда Российская Федерация демонстрирует стабильный рост производства свинины, достигая исторических максимумов, а доля отрасли в структуре мясного баланса превышает 40 %, вопросы интенсификации производства и сохранения продуктивности поголовья приобретают ключевое значение.

Экспериментально подтверждена работоспособность алгоритма поддержания температуры в лабораторных условиях. Система обеспечивала устойчивое регулирование в диапазоне 22–26 °С и 17–21 °С, своевременно реагируя на внешние возмущения и изменяя комбинации управляющих воздействий.

Несмотря на ограничения, связанные с лабораторным характером испытаний, полученные результаты позволяют рассматривать предложенную систему как перспективную основу для создания интеллектуальных киберфизических систем в животноводстве. Дальнейшие исследования, направленные на апробацию разработанных алгоритмов в условиях реального свиноводческого предприятия, разработку математической модели теплового баланса помещения и интеграцию прогностических алгоритмов, будут способствовать повышению точности управления, снижению энергозатрат и минимизации рисков теплового стресса у животных, что в конечном итоге обеспечит более полную реализацию генетического потенциала продуктивности поголовья.

Список источников

1. Цындрин Ю. Мясной сектор: расклад сил в России и в мире // Животноводство России. 2024. № 5. С. 2–5. URL: <https://zzr.ru/zzr-2024-05-001> (дата обращения: 09.02.2026)
2. Ильин И. В., Курячий М. Г., Игнаткин И. Ю. Влияние параметров микроклимата на продуктивность свиней // Перспективное свиноводство: теория и практика. 2011. № 3. С. 21–25. EDN OKRQPR.
3. Долженкова Г. М., Гизатуллин Р. С., Токарев И. Н. Рост, откормочные и мясные качества подсвинков в зависимости от параметров микроклимата свиарников // Портал промышленного свиноводства. URL: <https://piginfo.ru/article/rost-otkormochnye-i-myasnye-kachestva-podsvinkov-/> (дата обращения: 09.02.2026)
4. Игнаткин И. Ю., Курячий М. Г. Системы вентиляции и влияние параметров микроклимата на продуктивность свиней // Вестник НГИЭИ. 2012. № 10 (17). С. 16–34. EDN PELGKX.
5. Перевойко Ж. А. Рациональное использование продуктивного потенциала свиней разных генотипов для увеличения производства свинины: специальность 06.02.07 «Разведение, селекция и генетика сельскохозяйственных животных» : диссертация на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук / Перевойко Жанна Александровна. Оренбург, 2013. 303 с. EDN SUNNAF.
6. Механизация и технология производства продукции животноводства / В. Г. Коба, Н. В. Брагинцев, Д. Н. Мурусидзе, В. Ф. Некрашевич. М. : Колос, 2000. 528 с.
7. Особенности поддержания заданных параметров микроклимата для свиноводческих комплексов / А. А. Величков, В. Ю. Соколов, А. П. Козловцев, З. В. Макаровская // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 6 (92). С. 189–193. EDN ZXKVZZ.
8. Сайкин А. М. Возможности очистки воздуха в кабинах транспортных средств // Вестник Вятского ГАТУ. 2025. № 4 (26). С. 113–120. EDN EFXCGM.
9. Заболотная А. А. Тепловой стресс – реальные потери в продуктивности свиней // Свиноводство. 2024. № 3. С. 15–18. EDN ATUPSP.
10. Анализ исследования микроклимата в птицеводческих помещениях / Н. В. Петренко, И. В. Егорова, А. С. Гайда, И. Э. Липкович // Электронный научно-производственный журнал «АгроЭкоИнфо». 2025. № 3 (69) С. 17.
11. Мартынов В. М., Козловцев А. П., Хамматов Р. А. Расчет системы обеспечения микроклимата животноводческого помещения // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2020. № 4 (56). С. 106–112. DOI: 10.31563/1684-7628-2020-56-4-106-112. EDN FFKLOU.

12. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025691521 Российская Федерация. Приложение для расчета параметров системы вентиляции в помещении : заявл. 28.10.2025 : опубл. 14.11.2025 / Е. В. Яковлева, С. А. Козловцев, А. П. Козловцев [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный аграрный университет». EDN EDENBU.

References

1. Tsyndrina Yu. The meat sector: the balance of power in Russia and in the world. Zhivotnovodstvo Rossii. 2024;(5):2–5. URL: <https://zsr.ru/zsr-2024-05-001>. [Accessed 09 February 2026]. (In Russ.).
2. Ilyin IV, Kuryachy MG, Ignatkin IY. The influence of microclimate parameters on pig productivity. Perspektivnoye svinovodstvo: teoriya i praktika. 2011;(3):21–25. EDN OKRQPR. (In Russ.).
3. Dolzhenkova GM, Gizatullin RS, Tokarev IN. Growth, fattening and meat qualities of piglets depending on the parameters of the microclimate of pigsties. Portal promyshlennogo svinovodstva. URL: <https://piginfo.ru/article/rost-otkormochnye-i-myasnye-kachestva-podsvinkov-/>. [Accessed 09 February 2026]. (In Russ.).
4. Ignatkin IYu, Kuryachiy MG. Ventilation systems and the influence of microclimate parameters on pig productivity. Vestnik NGIEI = Bulletin NGIEI. 2012;(10):16–34. EDN PELGKX. (In Russ.).
5. Perevoiko ZhA. Ratsional'noye ispol'zovaniye produktivnogo potentsiala sviney raznykh genotipov dlya uvelicheniya proizvodstva svininy = Rational use of the productive potential of pigs of different genotypes to increase pork production. Orenburg; 2013. 303 p. EDN SUNNAF. (In Russ.).
6. Koba VG, Braginets NV, Murusidze DN, Nekrashevich VF. Mekhanizatsiya i tekhnologiya proizvodstva produktsii zhivotnovodstva = Mechanization and technology of livestock production. Moscow: Kolos Publishing; 2000. 528 p. (In Russ.).
7. Velichkov AA, Sokolov VY, Kozlovtssev AP, Makarovskaya ZV. Features of maintaining the set microclimate parameters for pig breeding complexes. Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2021;(6):189–193. EDN ZXKVZZ. (In Russ.).
8. Saikin AM. Possibilities of air purification in the cabins of vehicles. Vestnik Vyatskogo GATU. 2025;(4):113–120. EDN EFXCGM. (In Russ.).
9. Zabolotnaya AA. Heat stress is the real losses in pig productivity. Svinovodstvo. 2024;(3):15–18. EDN ATUPSP. (In Russ.).
10. Petrenko NV, Egorova IV, Gaida AS, Lipkovich IE. Analysis of the microclimate research in poultry farms. AgroEkoInfo. 2025;(3):17. (In Russ.).
11. Martynov VM, Kozlovtssev AP, Khammatov RA. Calculation of the microclimate system for livestock premises. Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2020;(4):106–112. DOI: 10.31563/1684-7628-2020-56-4-106-112. EDN FFKLOU. (In Russ.).
12. Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM 2025691521 Rossiyskaya Federatsiya. Prilozheniye dlya rascheta parametrov sistemy ventilyatsii v pomeshchenii: zayavleno 28.10.2025: opublikovano 14.11.2025. YeV Yakovleva, SA Kozlovtssev, AP Kozlovtssev i dr.; zayavitel' Orenburgskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet. (In Russ.).

Информация об авторах:

Соколов Виталий Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой электро- и теплоэнергетики, ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет имени В.А. Бондаренко», пр-т Победы, д. 13, г. Оренбург, Российская Федерация, 460018
e-mail: teploosu@mail.ru

Козловцев Андрей Петрович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры электро- и теплоэнергетики, ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет имени В.А. Бондаренко», пр-т Победы, д. 13, г. Оренбург, Российская Федерация, 460018
e-mail: ap_kozlovcev@mail.ru

Вылегжанин Павел Николаевич, кандидат технических наук, доцент, и.о. директора института инженерии и агробиотехнологии, ФГБОУ ВО «Вятский государственный агротехнологический университет», Октябрьский пр-т, д. 133, г. Киров, Российская Федерация, 610017
e-mail: ooo_avto43@mail.ru

Величков Александр Анатольевич, инженер, ООО «ОВК. Инженерные системы», ул. Марины Расковой, д. 10а, г. Оренбург, Российская Федерация, 460036
e-mail: 976705@mail.ru

Information about the authors

Vitaly Yu. Sokolov, candidate of technical sciences, associate professor, head of the Department of Electrical and Thermal Power Engineering of Orenburg State University named after V.A. Bondarenko, 13 Pobedy Avenue, Orenburg, 460018, Russian Federation
e-mail: teploosu@mail.ru

Andrey P. Kozlovcev, doctor of technical sciences, professor, professor of the Department of Electrical and Thermal Power Engineering of Orenburg State University named after V.A. Bondarenko, 13 Pobedy Avenue, Orenburg, 460018 Russian Federation
e-mail: ap_kozlovcev@mail.ru

Pavel N. Vylegzhanin, candidate of technical sciences, associate professor, acting director of the Institute of Engineering and Agrobiotechnology of Vyatka State Agrotechnological University, 133 October Avenue, Kirov, 610017, Russian Federation
e-mail: ooo_avto43@mail.ru

Alexander A. Velichkov, engineer, company “OVK. Engineering Systems”, 10a Marina Raskova Street, Orenburg, 460036, Russian Federation
e-mail: 976705@mail.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации
Contribution of the authors: all authors contributed equally to this work

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов
Conflict of interest: the authors declared that there was no conflict of interest

Статья / The article

поступила в редакцию / was submitted	19.02.2026
одобрена после рецензирования / approved after reviewing	25.02.2026
принята к публикации / accepted for publication	20.03.2026