

# ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ АПК

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 658.52.011.56

DOI: 10.26897/2687-1149-2023-3-5-12



## Система обеспечения параметров воздуха в помещении для содержания крупного рогатого скота

**Игорь Мамедяревич Довлатов**, канд. техн. наук, научный сотрудник<sup>1</sup>

dovlatovim@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3058-2446>

**Владимир Вячеславович Кирсанов**✉, чл.-корр. РАН, д-р техн. наук, профессор, зав. отделом механизации и автоматизации животноводства<sup>1</sup>

kirvv2014@mail.ru✉; <https://orcid.org/0000-0003-2549-4070>

**Илья Владимирович Комков**, магистр, специалист<sup>1</sup>

ilyakomkov10@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2407-4584>

**Сергей Сергеевич Юрочка**, канд. техн. наук, старший научный сотрудник<sup>1</sup>

yurochkasr@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-2511-7526>

**Иван Юрьевич Игнаткин**, д-р техн. наук, профессор<sup>2</sup>

ignatkin@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4867-1973>

<sup>1</sup> Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; 109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5

<sup>2</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

**Аннотация.** Создание комфортных условий для животных обеспечивает их долголетие и высокую продуктивность. Искусственная вентиляция, включающая в себя приточную, вытяжную системы и систему управления, минимизирует влияние человеческого фактора на поддержание параметров микроклимата в помещении. Предлагаемая система обеспечения параметров воздуха в помещении для содержания КРС с беспривязным содержанием разрабатывалась на основе анализа систем вентиляции животноводческих помещений и исследований, доказывающих эффективность осушения воздуха в зимний период с помощью рекуперативного теплообменника. Система обеспечения параметров микроклимата создавалась с помощью программы автоматизированного проектирования «Компас» (САПР) компании «Аскон». Разработанная система обеспечения параметров воздуха в помещении для содержания КРС включает в себя: электрофильтр и фильтр грубой очистки; вентиляторы; пластинчатый теплообменник; турбодфлектор; датчики температуры, влажности, скорости воздушного потока; пылесборники; насос; бак с дезинфектантом; механизм заслонки приточного воздуха и рециркулируемого воздуха. Использование рекуперативной системы осушения при низких температурах наружного воздуха позволяет поддерживать в помещении относительную влажность воздуха в нормативных пределах (75...40%) и снижать концентрацию углекислого газа на 20...45%. Для обеспечения указанных параметров микроклимата без осушения воздуха необходимо 200 кВт тепловой мощности для подогрева приточного воздуха. Предлагаемая комбинированная энергосберегающая всепогодная климатическая установка обеспечивает мониторинг параметров микроклимата и энергосбережение за счёт применения турбодфлектора, обеззараживает вентиляционный воздух, осушает воздух в коровнике в зимний период и охлаждает летом, а также частично обеспыливает воздух электромагнитным фильтром.

**Ключевые слова:** микроклимат, мониторинг параметров микроклимата, система обеспечения параметров воздуха, КРС, воздухообмен, рекуператор, влажность воздуха, содержание углекислого газа, продуктивность

**Формат цитирования:** Довлатов И.М., Кирсанов В.В., Комков И.В., Юрочка С.С., Игнаткин И.Ю. Система обеспечения параметров воздуха в помещении для содержания крупного рогатого скота // Агроинженерия. 2023. Т. 25, № 3. С. 5-12. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-3-5-12>.

© Довлатов И.М., Кирсанов В.В., Комков И.В., Юрочка С.С., Игнаткин И.Ю., 2023

## ORIGINAL ARTICLE

**Indoor air-conditioning system for cattle houses****Igor M. Dovlatov, CSc (Eng), Research Engineer<sup>1</sup>**dovlatovim@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3058-2446>**Vladimir V. Kirsanov<sup>✉</sup>, Corresponding Member of RAS, DSc (Eng), Professor<sup>1</sup>**kirvv2014@mail.ru<sup>✉</sup>; <https://orcid.org/0000-0003-2549-4070>**Ilya V. Komkov, specialist<sup>1</sup>**ilyakomkov10@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2407-4584>**Sergey S. Yurochka, Junior Research Engineer<sup>1</sup>**yurochkasr@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-2511-7526>**Ivan Yu. Ignatkin, DSc (Eng), Professor<sup>2</sup>**ignatkin@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4867-1973><sup>1</sup>Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 5, 1<sup>st</sup> Institutskiy Proezd Str., Moscow, 109428, Russian Federation<sup>2</sup>Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation

**Abstract.** Creating comfortable conditions for animals ensures their longevity and high productivity. Artificial ventilation, which includes supply and exhaust systems and a control system, minimizes the influence of the human factor on maintaining the indoor air parameters. The proposed system of indoor air-conditioning for the loose cattle housing layout was developed based on the analysis of ventilation systems of livestock premises and studies proving the effectiveness of dehumidification in winter using a regenerative heat exchanger. The system for providing indoor air parameters was developed using the computer-aided design program “Compass” (CAD) of the “Askon” company. The developed system for providing indoor air parameters for keeping cattle includes an electrofilter and a coarse filter, fans, a plate heat exchanger, a turbodefector; temperature, humidity, and air flow velocity sensors, dust collectors, a pump, a tank with a disinfectant, and a mechanism for shutting down supply air and recirculated air. The use of a recuperative dehumidification system at low outdoor temperatures helps maintain the relative indoor humidity within the regulatory limits (75...40%) and reduce the concentration of carbon dioxide by 20...45%. To ensure these indoor air parameters without dehumidification, 200 kW of thermal power is needed to heat the supply air. The proposed combined energy-saving all-season climate control system provides monitoring of indoor air parameters and energy saving through the use of a turbo deflector, disinfects the ventilation air, dehumidifies the air in the cowshed in winter and cools in summer, and also partially removes dust from the air with an electromagnetic filter.

**Keywords:** indoor climate, monitoring of indoor air parameters, system for providing air parameters, cattle, air exchange, recuperator, air humidity, carbon dioxide content, productivity

**For citation:** Dovlatov I.M., Kirsanov V.V., Komkov I.V., Yurochka S.S., Ignatkin I.Yu. Indoor air-conditioning system for cattle houses. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2023;25(3):5-12. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-3-5-12>.

**Введение.** Создание комфортных условий для животных является залогом их долголетия и высокой продуктивности. К основным параметрам [1-2] микроклимата относятся температура, относительная влажность, содержание углекислого газа, аммиака, сероводорода, скорость движения воздуха и др<sup>1</sup>. Несоблюдение установленных показателей параметров микроклимата приводит к возникновению различных отклонений в развитии животных, к появлению заболеваний, и как следствие – к снижению продуктивных

показателей, изменению их поведения [3, 4]. Содержание углекислого газа в помещении – наиболее важный показатель, который необходимо контролировать [5].

Известны два основных способа вентиляции: естественная и принудительная [6, 7], а также различные их комбинации. Основным недостатком систем вентиляции с естественным побуждением является зависимость естественной тяги от разности плотностей внутреннего и наружного воздуха, определяемой разностью температур, поэтому не весь отработанный воздух подвержен удалению из помещения. В отсутствие отопления в зимний период вентиляционные проемы прикрываются, что позволяет поддерживать положительную температуру в производственных

<sup>1</sup> Об утверждении Ветеринарных правил содержания крупного рогатого скота в целях его воспроизводства, выращивания и реализации: Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 21 октября 2020 г. № 622.

помещениях. Однако при этом резко повышается влажность и нередко наблюдается устойчивый туман с капельной влагой, свидетельствующий о 100%-ной относительной влажности. При естественной вентиляции происходит неравномерное распределение воздушных потоков и тепла, увеличивается загазованность помещения, что негативно сказывается на здоровье КРС и способно понизить его продуктивность на 10...20%.

Уровень общей механизации на животноводческих производствах крупного рогатого скота за последние три десятка лет снизился до 45%, что негативно сказывается на экономических показателях [8, 9]. Около 75% отечественных молочных хозяйств механизировано комплексно, что является недостаточным для нынешнего уровня сельского хозяйства.

Естественная вентиляция является основным ее способом в тех случаях, когда доминирующим критерием принятия решения является снижение затрат на капитальное строительство. Исходя из данных<sup>2</sup>, следует, что типовое размещение приточно-вытяжной системы конькового типа не удовлетворяет потребности скотоводства в случае недостаточного количества данных систем в помещении для содержания, поэтому существует потребность в совершенствовании вентиляционных систем.

Искусственная вентиляция, являющаяся современным техническим решением и включающая в себя приточную, вытяжную системы и систему управления, минимизирует влияние человеческого фактора на поддержание параметров микроклимата в помещении. Отличительной особенностью таких систем является возможность их внедрения на производстве, где используют моноблочные помещения для содержания поголовья КРС. Такого рода системы вентиляции обходятся дороже, но способны стабильно обеспечивать требуемый микроклимат [5, 6], а также при прочих равных условиях имеют меньшие теплотери через ограждающие конструкции за счёт снижения удельной поверхности.

Система контроля микроклимата должна иметь автоматическое управление с возможностью ручного вмешательства [9]. При создании приточно-вытяжной системы необходимо учитывать траектории распределения воздушных масс, поля температур и концентраций вредных веществ [10-13].

Кроме того, применяемые системы естественной вентиляции не обеспечивают эффективную борьбу с тепловым стрессом у животных [14-17].

<sup>2</sup> Войтюк М.М., Сураева Е.А. Типовые проектные решения для модернизации животноводческих и птицеводческих комплексов и ферм: Сборник. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2017. 272 с.

Предлагается [18] комбинированная система обеспечения параметров микроклимата, основой которой является приточно-вытяжная система шахтного типа, включающая в себя теплообменник рекуперативного типа для утилизации теплоты вытяжного воздуха. Такое решение позволяет частично регенерировать воздух помещения за счёт его осушения, сохраняет воздух со значительным тепловым потенциалом и снижает потери теплоты.

Применение рекуператоров в коровниках с целью исключительно утилизации теплоты вытяжного воздуха является малоэффективным, что обусловлено низкой температурой содержания животных. Однако рекуператоры позволяют эффективно осушать воздух помещения [19-21], что позволяет без дополнительного подогрева поддерживать относительную влажность воздуха в требуемом диапазоне при минимальном воздухообмене, а следовательно, и повысить температуру воздуха. Описанные меры благотворно сказываются на здоровье и продуктивности животных.

Следует разработать всесезонную систему управления микроклиматом для помещений беспривязного содержания крупного рогатого скота на основе приточно-вытяжных установок шахтного типа с дополнительными функциями по очистке и осушению (увлажнению) воздуха, повышению эффективности утилизации теплоты, использованию энергосберегающего ветрового побудителя тяги: турбодфлектора, датчиков температуры, относительной влажности и загазованности.

**Цель исследований:** разработка системы обеспечения основных параметров воздуха в помещении для содержания крупного рогатого скота с беспривязным содержанием скота.

**Материалы и методы.** Анализ систем вентиляции животноводческих помещений, изучение источников литературы показали эффективность осушения воздуха с помощью рекуперативного теплообменника, на основании чего разработаны технологическая схема комбинированной энергосберегающей всесезонной климатической установки, схема ее расположения в коровнике и структурная схема управления контроллера.

Разработка новой системы обеспечения параметров микроклимата проводилась с помощью программы автоматизированного проектирования «Компас» (САПР) компании «Аскон».

Контроль параметров воздушной среды помещения осуществлялся в соответствии с требованиями, изложенными в приказе Министерства сельского хозяйства Российской Федерации № 622 от 21 октября 2020 г. и РД-АПК 1.10.01.01-18 «Методические

рекомендации по технологическому проектированию ферм и комплексов крупного рогатого скота».

Одна корова массой 500 кг при 10°C выделяет 504 Вт явной теплоты, 100 л/ч углекислого газа и 288 г/ч водяных паров. При этом относительная влажность воздуха в коровниках должна варьироваться в диапазоне 40...75%, концентрация углекислого газа – до 0,25%, аммиака – до 20 мг/м<sup>3</sup>, содержание сероводорода – 5 мг/м<sup>3</sup>, а для молодняка и взрослых животных эти показатели допускаются лишь в следовых количествах (РД-АПК 1.10.01.01-18).

Для круглогодичного поддержания вышеописанных показателей необходимо осуществлять воздухообмен с адекватной по отношению к условиям кратностью. Без применения энергосберегающих технологий в зимний период предполагаются значительные затраты на отопление.

В структуре теплового баланса современного, хорошо утепленного коровника на 600 гол. (стены и кровля – из сэндвич-панелей 100 и 200 мм соответственно, вентиляционные проемы закрыты надувными шторами), основные потери теплоты приходятся на нагрев вентиляционного воздуха. Так, при обеспечении нормативной относительной влажности 75% и температуры 10°C на вентиляцию приходится 388 кВт (76%), потери через ограждающие конструкции – 89 кВт (17%), потери на испарение влаги со смоченных поверхностей – 35 кВт (7%) [21].

Расчет тепло-влажностных балансов для коровника на 600 гол., расположенного в Липецкой области, показал, что для обеспечения требуемого микроклимата достаточными являются 4 установки производительностью 6000 м<sup>3</sup>/ч [21]. В наиболее холодный период года они будут работать поочередно в режимах «Рекуперация» и «Оттаивание».

Известно [21], что характерным является изменение относительной влажности в зависимости от температуры наружного воздуха для коровников, оборудованных системой осушения при обеспечении температуры 10°C, а также для коровников без системы осушения при обеспечении температуры 10 и 5°C. Согласно указанным данным составлены графики зависимости относительной влажности от наружной температуры [21].

Использование системы осушения воздуха позволяет внутри помещения поддерживать относительную влажность воздуха в нормативных пределах 75...40% и поддерживать концентрацию углекислого газа в среднем ниже на 20 и 45% по сравнению с базовой системой (при температуре воздуха внутри помещения соответственно 5 и 10°C). Без осушения воздуха при температурах ниже –13°C и –20°C поддержание относительной влажности в нормативных

пределах без отопления теоретически недостижимо. Для обеспечения указанных параметров микроклимата без осушения воздуха необходимо 200 кВт тепловой мощности для подогрева приточного воздуха [21].

Необходимо замерять относительную влажность воздуха и его температуру, а также содержание углекислого газа, в том числе контролировать скорость движения воздуха и другие параметры. Использовать газоанализирующие датчики в качестве источников регулирующего сигнала нежелательно в связи с техническими ограничениями: сравнительно низким ресурсом чувствительных элементов и их деградацией в процессе эксплуатации, требующими частой калибровки. На наш взгляд, в качестве регулирующих параметров следует принимать температуру и относительную влажность, так как они позволяют гарантированно управлять микроклиматом, а косвенно за счет корреляции относительной влажности и температуры с содержанием углекислого газа регулировать и концентрацию CO<sub>2</sub>. Для более точного контроля концентрации углекислого газа допустима установка соответствующего датчика, информация с которого может быть использована в целях мониторинга или малой корректировки сигнал управляющего контура.

**Результаты и их обсуждение.** В результате анализа источников литературы определены функции и разработана технологическая схема комбинированной энергосберегающей всесезонной климатической установки (рис. 3). В качестве рекуператора предлагается теплообменник пластинчато-рифлёный с коэффициентом теплопередачи 5935 Вт/(м<sup>2</sup> К), который позволяет за счёт рифлёной конструкции достигать большей площади контакта для передачи тепла. Для осуществления его работы в холодный период от 0 до –10°C целесообразно интегрировать в него нагревательный элемент, а для проведения дезинфекции воздуха – распылительную форсунку, в которую поступает дезинфицирующее средство (дезинфектант), располагаемое в специальном баке. Поступление дезинфицирующего средства осуществляется по патрубку при работе насоса. Приходящие потоки воздуха обрабатываются дезинфектантом и поступают в помещение. Дезинфицирующее вещество также попадает в возвращённый воздух, что уменьшает вероятность распространения потенциально вредоносных организмов.

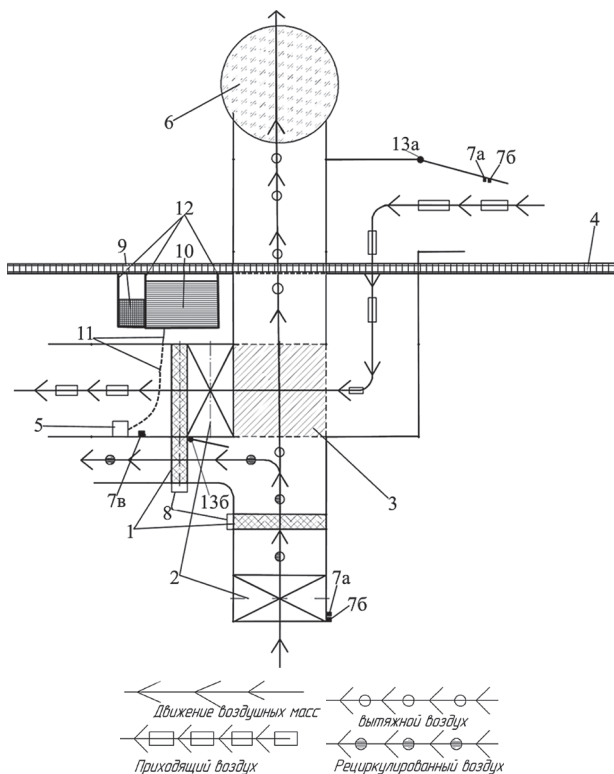
Предлагаемая система осуществляет:

- сбор данных с датчиков температуры, относительной влажности и концентрации углекислого газа;
- энергосбережение при обеспечении воздухообмена за счёт удаления части отработанного воздуха с применением турбодефлектора;
- обеззараживание вентиляционного воздуха;



- осушение воздуха в коровнике в зимний период;
- охлаждение воздуха и обдув животных приточными вентиляторами в жаркий период для борьбы с тепловыми стрессами;
- частичное обеспыливание воздуха электромагнитным фильтром.

Принцип работы системы описан ниже (рис. 1). При включении данной системы загрязненный воздух из помещения засасывается в шахту с помощью вентилятора и турбодефлектора, располагающегося сверху. Часть отработанного воздуха подвергается рециркуляции, проходя через фильтры.



**Рис. 1. Технологическая схема**

**комбинированной энергосберегающей  
всесезонной климатической установки:**

- 1 – электрофильтр и фильтр грубой очистки;
- 2 – вентиляторы с воздухопотоком 1440 м<sup>3</sup>;
- 3 – теплообменник пластинчатый; 4 – крыша;
- 5 – распылительная форсунка; 6 – турбодефлектор;
- 7 – датчики температуры (а), влажности (б), скорости воздушного потока (в); 8 – баки-пылесборники;
- 9 – насос; 10 – бак с дезинфектантом; 11 – патрубок;
- 12 – крепления к потолку; 13 – механизм заслонки приточного воздуха (а) и рециркулируемого воздуха (б)

**Fig. 1. Technological scheme of the combined  
energy-saving all-season climate control system:**

- 1 – electrostatic precipitator and coarse filter;
- 2 – fans with 1440 m<sup>3</sup> airflow; 3 – plate heat exchanger;
- 4 – roof; 5 – spray nozzle; 6 – turbo deflector;
- 7 – temperature (a), humidity (b), airflow rate sensors (c);
- 8 – dust collector tanks; 9 – pump; 10 – tank with disinfectant;
- 11 – spigot; 12 – ceiling mountings;
- 13 – supply air (a) and recirculated air (b) damper

Вещества, оседающие на фильтрах, попадают в пылесборник, располагающийся под фильтрами. Также в рекуперационной части шахты имеется заслонка, которую можно закрыть, если температура воздуха в помещении достаточно высокая и нет необходимости в поступлении теплого воздуха. Основная масса удаляемого воздуха выносится наружу по шахте, проходя через пластинчатый теплообменник. Пластины нагреваются от удаляемого воздуха путем передачи тепла, которое потом передают поступающему свежему воздуху с улицы. Поступающий воздух, проходя через теплообменник, нагревается до оптимальной температуры и поступает в помещение уже достаточно прогретым, что способствует поддержанию оптимальных условий микроклимата. Приходящий воздух перед поступлением в помещение также проходит через электрофильтр, что способствует его очищению. Внутри шахты, через которую поступает воздух с улицы, располагается форсунка, распыляющая дезинфектант. Это позволяет частично обеспылить воздух и инактивировать патогенную микрофлору, а дополнительно – увлажнять воздух при необходимости. Форсунка располагается таким образом, что распыляющийся дезинфектант обрабатывает 2 потока воздуха: приходящий с улицы и рециркуляционный, то есть часть отработанного воздуха, который возвращается для поддержания положительного значения температуры, также обрабатывается от патогенных микроорганизмов. Дополнительно в системе предусмотрена автоматика по сбору параметров и их анализу по скорости потока, влажности и температуре.

Датчики температуры 7а, относительной влажности 7б и углекислого газа, располагающиеся в данной системе, позволяют осуществлять мониторинг и регулирование системы по интересующим нас параметрам.

Для более полного понимания взаимодействия системы и среды нами разработана технологическая схема расположения предлагаемого решения в коровнике (рис. 2).

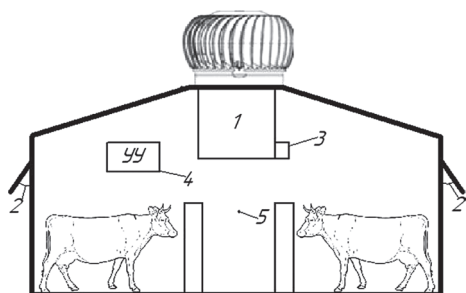
Устройство управления следует располагать с торцевой стороны коровника или в техническом помещении для более удобного доступа к нему работников предприятия. Датчики необходимо устанавливать на уровне голов животных, однако на досочном расстоянии от них, чтобы избежать возможных повреждений и ложных управляющих сигналов в случае нахождения датчиков в зоне дыхания животных.

Система имеет три режима работы: летний, зимний, межсезонный. При летнем режиме не осуществляется работа вентиляторов или включается только вытяжной вентилятор при условии, что дефлектору не хватает производительности; приток воздуха

осуществляется через оконные проемы или шторы. При межсезонном режиме попеременная работа вентиляторов зависит от показателей температуры внешней среды. Приток может осуществляться как через окна, так и через рекуператор. При зимнем режиме воздухообмен осуществляется через рекуператор. Приточный воздух будет прогреваться в теплообменнике за счет выходящих воздушных масс, однако при низких температурах вытяжной канал рекуператора будет обмерзать, что обусловлено кристаллизацией конденсата влажного вытяжного воздуха. В таком случае рекуператор необходимо эксплуатировать поочередно в режимах «Рекуперация» и «Оттаивание». В случае оттаивания приток свежего воздуха прекращается, а теплый вытяжной, проходя через рекуператор, направляется обратно в помещение (рециркуляция). В процессе теплообмена рециркуляционный воздух охлаждается, достигая точки росы, что приводит к выделению конденсата. Воздух осушается, а в конденсате растворяется часть вредных газов (прежде всего – аммиак), что позволяет говорить о частичной регенерации воздуха.

Поскольку дополнительное удаление воздуха осуществляется за счет работы турбодефлектора, приводимого в движение от скорости ветра, то располагая внутри него датчик скорости вращения, можно определить его производительность.

Для автоматизации системы нами предлагается использование контроллера на базе *Arduino*. С основой на базе данных выбирается режим работы, соответствующий текущим условиям окружающей среды. После сбора и обработки данных, полученных



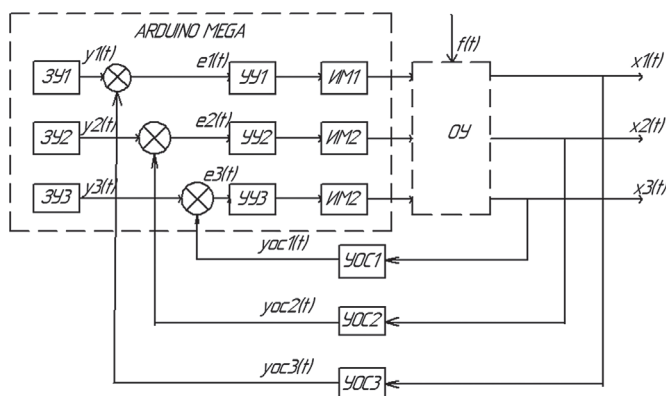
**Рис. 2. Схема расположения системы обеспечения параметров воздуха в коровнике с беспривязным содержанием:**  
 1 – система обеспечения параметров;  
 2 – приточные летние каналы,  
 3 – датчик температуры, влажности;  
 4 – устройство управления;  
 5 – датчики углекислого газа

**Fig. 2. Schematic layout of the air-conditioning system in a loose-housing cowshed:**  
 1 – air-conditioning system; 2 – summer inlet channels;  
 3 – temperature sensor, humidity sensor; 4 – control unit;  
 5 – carbon dioxide sensors

от датчиков температуры, влажности, углекислого газа, задающее устройство формирует команду устройству управления (включение/выключение вентилятора, начало работы дезинфицирующего устройства). Далее по каналу связи передается команда исполнительному устройству, которое уже выполняет необходимую команду. Затем цикл повторяется.

Структурная схема управления контроллера создана в соответствии с ГОСТ 19.701-90 «Схемы алгоритмов программ, данных и систем» и состоит из трех замкнутых каналов регулирования: 1 – управление вентиляторами; 2 – управление форсункой; 3 – управление электрофильтром (рис. 3).

В дальнейшем будут проводиться теоретические исследования с целью получения аналитических моделей распределения воздушных масс. Также планируется провести численное моделирование процессов распределения воздуха с учётом неравномерности его газового состава и разработку алгоритма работы контроллера. Будут проводиться опыты по функционированию работы контроллера и режимов работы на стенде, осуществляться сбор данных на ферме. Для проверки расхода воздуха в различных режимах системы и исследования процесса теплообмена планируется провести испытания узла дезинфекции для рассмотрения характера и площади распыления и узла воздухообмена. Планируется изготовить опытный образец системы и провести натурные испытания в хозяйстве.



**Рис. 3. Структурная схема управления контроллера:**  
 ЗУ – задающее устройство; УУ – устройство управления;  
 ИМ – исполнительный механизм;  
 ОУ – объект управления; УОС – устройство обратной связи;  
 $y(t)$ ,  $yoc(t)$  – задающее воздействие и сигнал обратной связи;  
 $e(t)$  – сигнал ошибки;  $f(t)$  – возмущающее воздействие;  
 $x(t)$  – управляемый сигнал

**Fig. 3. Control block diagram of the controller:**  
 ЗУ – set point device; УУ – control device;  
 ИМ – actuator;  
 ОУ – control object; УОС – feedback device;  
 $y(t)$ ,  $yoc(t)$  – set point and feedback signal;  $e(t)$  – error signal;  
 $f(t)$  – disturbance impact;  $x(t)$  – controlled signal

## Выводы

1. Существует необходимость в зимний период осушения воздуха помещения с применением рекуперативного теплообмена.

2. Рекуперативная система осушения при низких температурах наружного воздуха позволяет поддерживать в помещении относительную влажность воздуха в нормативных пределах (75...40%) и снижать концентрацию углекислого газа на 20...45% по сравнению с базовой системой. Поддержание указанных параметров микроклимата без осушения воздуха

обеспечивается подогревом приточного воздуха, на что необходимо 200 кВт тепловой мощности.

3. Разработанная комбинированная энергосберегающая всесезонная климатическая установка обеспечивает мониторинг параметров микроклимата и энергосбережение при условии воздухообмена, обусловленного удалением части отработанного воздуха с помощью турбодефлектора. Дополнительно установка обеззараживает вентиляционный воздух, осушает воздух в коровнике в зимний период и охлаждает летом, а также частично обеспыливает воздух электромагнитным фильтром.

## Список использованных источников

1. Иванов Ю.Г., Кирсанов В.В., Юрочка С.С. Исследования параметров микроклимата в зоостанции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева // Доклады ТСХА. 2019. Вып. 291. Ч. V. С. 115. EDN: IFYIGH
2. Assatbayeva G., Issabekova S., Uskenov R., Karymsakov T., Abdrakhmanov T. Influence of microclimate on ketosis, mastitis and diseases of cow reproductive organs. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*. 2022;10 (3):2230. <http://dx.doi.org/10.31893/jabb.22030>
3. Lovarelli D., Riva E., Mattachini G., Guarino M., Provolo G. Assessing the effect of barns structures and environmental conditions in dairy cattle farms monitored in Northern Italy. *Journal of Agricultural Engineering*. 2021;52(4):12-29.
4. Вторый В.Ф. Структура системы конверсии вредных газов из воздушной среды коровника // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2019. № 2 (99). С. 286-295. <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2019-10174>
5. Довлатов И.М., Юрочка С.С. Разработка энергоэффективной системы микроклимата для беспривязного содержания дойного стада // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2021. Т. 15, № 3. С. 73-80. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-3-73-80>
6. Tomasello N., Valenti F., Cascone G., Porto S. Development of a CFD model to simulate natural ventilation in a semi-open free-stall barn for dairy cows. *Buildings*. 2019;9(8):183. <https://doi.org/10.3390/buildings9080183>
7. Волков А.И., Прохорова Л.Н., Большакова В.С. Технико-экономические показатели механизации и автоматизации базовых отраслей животноводства // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. 2019. № 21. С. 527-530. EDN: HIZNWU
8. Морозов Н.М. Развитие исследований по механизации и автоматизации животноводства // История науки и техники. 2019. № 12. С. 40-45. EDN: HNCLMJ
9. Тихомиров Д.А., Баклячян Р.А., Добровольский Ю.Н. Функциональная схема и исходные требования на комплект автоматического управления микроклиматом в животноводческом помещении // Агротехника и энергообеспечение. 2021. № 1 (30). С. 7-17. EDN: MEKSSM
10. Игнаткин И.Ю. Способ утилизации теплоты вытяжного воздуха с применением рекуперативного теплообменника // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2018. № 1 (56). С. 151-157. EDN: XSVENN
11. Кирсанов В.В., Игнаткин И.Ю. Струйная модель притока вентиляционного воздуха из теплоутилизационной установки // Вестник Федерального государственного

## References

1. Ivanov Yu.G., Kirsanov V.V., Yurochka S.S. Studies of microclimate parameters in the zoo station of the Russian State Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev. *TLC reports*. 2019;291(V):115. (In Rus.)
2. Assatbayeva G., Issabekova S., Uskenov R., Karymsakov T., Abdrakhmanov T. Influence of microclimate on ketosis, mastitis and diseases of cow reproductive organs. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*. 2022;10(3):2230. <http://dx.doi.org/10.31893/jabb.22030>
3. Lovarelli D., Riva E., Mattachini G., Guarino M., Provolo G. Assessing the effect of barns structures and environmental conditions in dairy cattle farms monitored in Northern Italy. *Journal of Agricultural Engineering*. 2021;52(4):12-29.
4. Vtoriy V.F. Structure of the conversion system of harmful substances found in the cowshed air. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktii rastenievodstva i zhivotnovodstva*. 2019;2(99):286-295. <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2019-10174> (In Rus.)
5. Dovlatov I.M. Yurochka, S.S. Development of an energy-efficient microclimate system for dairy herd loose keeping. *Agricultural machines and technologies*. 2021;15(3):73-80. (In Rus.) <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-3-73-80>
6. Tomasello N., Valenti F., Cascone G., Porto S. Development of a CFD model to simulate natural ventilation in a semi-open free-stall barn for dairy cows. *Buildings*. 2019;9(8):183. <https://doi.org/10.3390/buildings9080183>
7. Volkov A.I., Prokhorova L.N., Bolshakova V.S. Technical and economic indicators of mechanization and automation of basic livestock industries. *Topical issues of improving the technology of production and processing of agricultural products*. 2019;21:527-530. (In Rus.)
8. Morozov N.M. Development of research on mechanization and automation of livestock. *History of science and technology*. 2019;12:40-45. (In Rus.)
9. Tikhomirov D.A., Baklachyan R.A., Dobrovolsky Yu.N. Functional diagram and initial requirements for a set of automatic climate control in a livestock room. *Agricultural machinery and energy supply*. 2021;1(30):7-17. (In Rus.)
10. Ignatkin I.Yu. Exhaust air heat recovery technique using a recuperative heat exchanger. *Bulletin of the Voronezh State Agrarian University*. 2018;1(56):151-157. (In Rus.)
11. Kirsanov V.V., Ignatkin I.Yu. Jet model of ventilation air inflow from heat-recovery unit. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*. 2018;2(84):28-32. (In Rus.) <https://doi.org/10.26897/1728-7936-2018-2-28-32>
12. Myroniuk K., Voznyak O., Savchenko O., Kasynets M. Mathematical modeling of an air flow leakage with the jets interaction at the variable mode: *Lecture Notes*



образовательного учреждения высшего профессионально образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». 2018. № 2 (84). С. 28-32. <https://doi.org/10.26897/1728-7936-2018-2-28-32>

12. Myroniuk K., Voznyak O., Savchenko O., Kasynets M. Mathematical modeling of an air flow leakage with the jets interaction at the variable mode: Lecture Notes in Civil Engineering. 2023. Pp. 289-298. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-14141-6\\_29](https://doi.org/10.1007/978-3-031-14141-6_29)

13. García-Castillo J.L., Picón-Núñez M., Abu-Khader M.M. Improving the prediction of the thermohydraulic performance of secondary surfaces and its application in heat recovery processes. *Energy*. 2022;261:125-196. <https://doi.org/10.1016/j.energy>

14. Ильин И.В., Игнаткин И.Ю., Курячий М.Г. Ресурсосберегающая система отопления и вентиляции // Эффективное животноводство. 2011. № 9 (71). С. 42-44. EDN: WKKTAX

15. Архипцев А.В., Игнаткин И.Ю. Автоматизированная система микроклимата с утилизацией теплоты вытяжного воздуха // Вестник НГИЭИ. 2016. № 4 (59). С. 5-14. EDN: VYUQPX

16. Mohsenimanesh A., LeRiche E.L., Gordon R., MacKinnon I., VanderZaag A.C. Review: Dairy farm electricity use, conservation, and renewable production- a global perspective. *Applied Engineering in Agriculture*. 2021;37(5):977-990. <https://doi.org/10.13031/aea.14621>

17. Колотушкин А.Н., Юрочка С.С., Васина М.Ю., Довлатов И.М. Устройство автоматического регулирования качества воздуха в животноводческих помещениях // Агротехника и энергообеспечение. 2021. № 3 (32). С. 17-23. EDN: GWBZKJ

18. Sizova Y.V., Kucherenko M.N., Vasilieva L.A., Matveev V.Y., Kotin A.I. Analysis of microclimate in livestock housing. *International Journal of Advanced Science and Technology*. 2020;29(3):3730-3736. <http://sersc.org/journals/index.php/IJAST/article/view/5051>

19. Mylostyvyi R., Chernenko O. Correlations between environmental factors and milk production of Holstein cows. *Data*. 2019;4(3):103. <https://doi.org/10.3390/data4030103>

20. Yan G., Shi Z., Cui B., Li H. Developing a new thermal comfort prediction model and web-based application for heat stress assessment in dairy cows. *Biosystems Engineering*. 2022;214:72-89. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2021.12.006>

21. Игнаткин И.Ю. Способ осушения воздуха в коровниках // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2017. № 3 (79). С. 20-24. EDN: YTPHCH

*in Civil Engineering*. 2023. Pp. 289-298. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-14141-6\\_29](https://doi.org/10.1007/978-3-031-14141-6_29)

13. García-Castillo J.L., Picón-Núñez M., Abu-Khader M.M. Improving the prediction of the thermohydraulic performance of secondary surfaces and its application in heat recovery processes. *Energy*. 2022;261:125-196. <https://doi.org/10.1016/j.energy>

14. Ilyin I.V., Ignatkin I.Yu., Kuryachiy M.G. Resource-saving heating and ventilation system. *Efficient animal husbandry*. 2011;9(71):42-44. (In Rus.)

15. Arkhipsev A.V. Arkhipsev, Ignatkin I.Yu. Automated system microclimate with heat recovery exhaust air. *Bulletin of the NGIEI*. 2016;4(59):5-14. (In Rus.)

16. Mohsenimanesh A., LeRiche E.L., Gordon R., MacKinnon I., VanderZaag A.C. Review: Dairy farm electricity use, conservation, and renewable production- a global perspective. *Applied Engineering in Agriculture*. 2021;37(5):977-990. <https://doi.org/10.13031/aea.14621>

17. Kolotushkin A.N., Jurochka S.S., Vasina M.Yu., Dovatov I.M. Device for automatic air quality control in livestock premises. *Agrotekhnika i energoobespechenie*. 2021;3:17-23. (In Rus.)

18. Sizova Y.V., Kucherenko M.N., Vasilieva L.A., Matveev V.Y., Kotin A.I. Analysis of microclimate in livestock housing. *International Journal of Advanced Science and Technology*. 2020;29(3):3730-3736. <http://sersc.org/journals/index.php/IJAST/article/view/5051>

19. Mylostyvyi R., Chernenko O. Correlations between environmental factors and milk production of Holstein cows. *Data*. 2019;4(3):103. <https://doi.org/10.3390/data4030103>

20. Yan G., Shi Z., Cui B., Li H. Developing a new thermal comfort prediction model and web-based application for heat stress assessment in dairy cows. *Biosystems Engineering*. 2022;214:72-89. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2021.12.006>

21. Ignatkin Ivan Yu. Method of drying air in cowsheds. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*. 2017;3(79):20-24. (In Rus.)

#### Вклад авторов

В.В. Кирсанов – научное руководство, формулирование основных направлений исследования, литературный анализ, обработка результатов исследования.

И.М. Довлатов – литературный анализ, обработка результатов исследования, доработка текста и общих выводов.

И.В. Комков – литературный анализ, верстка и формирование работы, формирование текста.

С.С. Юрочка – литературный анализ, обработка результатов исследования.

И.Ю. Игнаткин – обработка результатов исследования, доработка текста и выводов.

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат.

Статья поступила в редакцию 14.11.2022; поступила после рецензирования и доработки 12.04.2023; принята к публикации 17.04.2023

#### Contribution of the authors

V.V. Kirsanov – research supervision, formulation of the main directions of research, literature review, processing of research results.

I.M. Dovatov – literature review, processing of research results, finalising the text and general conclusions.

I.V. Komkov – literature review, layout and formation of the work, text formation.

S.S. Yurochka – literature review, processing of the research results.

I.Yu. Ignatkin – processing of the research results, finalization of the text and conclusions

#### Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article and bear equal responsibility for plagiarism.

Received 14.11.2022; revised 12.04.2023; accepted 17.04.2023