

## Разработка энергоэффективной системы микроклимата для беспривязного содержания дойного стада

**Игорь Мамедярович Довлатов,**  
кандидат технических наук, научный сотрудник,  
e-mail: dovlatovim@mail.ru;

**Сергей Сергеевич Юрочка,**  
младший научный сотрудник,  
e-mail: yurochkasr@gmail.com

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

**Реферат.** Изучили научно-техническую литературу, посвященную влиянию микроклимата на продуктивность молочного скота. Установили, что отклонение параметров микроклимата в зданиях от определенных предельных значений снижает надой на 10-20 процентов, уменьшает прирост живой массы на 20-30 процентов, увеличивает падеж молодняка на 5-40 процентов, сокращает количество лактаций на 15-20 процентов по стаду. *(Цель исследования)* Провести обзор современных систем микроклимата и их технической реализации для животноводческих помещений, предложив оптимальный вариант при снижении энергозатрат. *(Материалы и методы)* Привели схему классификации систем микроклимата. Представили в одном рисунке факторы, влияющие на микроклимат животноводческих помещений. Определили основные функции систем вентиляции в животноводстве. Описали условия применения естественной и принудительной (тоннельной) систем вентиляции. Представили устройства для изменения микроклимата в помещениях. Рассмотрели возможность использования перекрытого гребня в зоне конька крыши для увеличения воздушного потока и минимизации проникновения влаги. *(Результаты и обсуждение)* Для экономии энергопотребления предложили вместо системы приточной вентиляции перейти на естественно-гибридную, которая содержит систему удаления воздуха, осветительное оборудование, нагревательные элементы, датчики, вентиляторы с распылительными форсунками, створки. *(Выводы)* Установили, что естественная вентиляция летом не способна предотвратить тепловой стресс от коров. Определили, что при тепловом стрессе в течение 60 дней убытки могут составить 4,2 миллиона рублей. Для обеспечения оптимальных условий микроклимата и снижения затрат от теплового стресса предложили использовать инновационную естественно-гибридную систему вентиляции. В ходе расчетов выявили, что энергопотребление предлагаемой системы в течение 60 дней равно 264 тысячам рублей.

**Ключевые слова:** микроклимат животноводческих помещений, системы вентиляции, естественная вентиляция, принудительная вентиляция, комбинированные системы, естественно-гибридная система вентиляции.

**Для цитирования:** Довлатов И.М., Юрочка С.С. Современные системы микроклимата и их техническая реализация для животноводческих помещений // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. №3. С. 73-80. DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-3-73-80.

## Development of an Energy-Efficient Microclimate System for Dairy Herd Loose Keeping

**Igor M. Dovlatov,**  
Ph.D.(Eng.), researcher, e-mail: dovlatovim@mail.ru;

**Sergey S. Yurochka,**  
junior researcher, e-mail: yurochkasr@gmail.com

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

**Abstract.** The authors studied the scientific and technical literature regarding the microclimate influence on dairy cattle productivity. It was found out that the building microclimate parameter deviation from certain limit values reduces milk yield by 10-20 percent decrease the live weight gain by 20-30 percent increases the mortality of young animals by 5-40 percent and reduces the number of lactations by 15-20 percent for the herd. *(Research purpose)* To conduct a survey of modern microclimate systems and their technical implementation for livestock buildings, suggesting the best option while reducing energy costs. *(Materials and methods)* A classification scheme was provided for microclimate systems. The factors affecting the microclimate of livestock premises were presented in one figure. The main functions of ventilation systems in animal husbandry were identified. The conditions for the use of natural and forced (tunnel) ventilation systems were described. The devices for changing the microclimate on the premises were presented. The possibility of using an overlapped ridge in the area of the roof ridge was considered to catch the airflow and

minimize moisture penetration. (*Results and discussion*) To decrease energy consumption, it was proposed to shift from a supply ventilation system to a natural and hybrid ventilation system, which contains an air removal system, lighting equipment, heating elements, sensors, fans with spray nozzles, sashes. (*Conclusions*) It was found out that in summer, natural ventilation is unable to prevent heat stress from cows. It was determined that in case of heat stress within 60 days, losses could amount to 4.2 million rubles. To ensure optimal microclimate conditions and reduce costs from heat stress, it was proposed to use an innovative natural and hybrid ventilation system. The calculations showed that a 60-day energy consumption of the proposed system equals 264 thousand rubles.

**Keywords:** microclimate of livestock premises, ventilation systems, natural ventilation, forced ventilation, combined systems, natural and hybrid ventilation system.

**For citation:** Dovlatov I.M., Yurochka S.S. Razrabotka energoeffektivnoy sistemy mikroklimata dlya besprivyaznogo soderzhaniya doynogo stada [Development of an energy-efficient microclimate system for dairy herd loose keeping]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2021. Vol. 15. N3. 73-80 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-3-73-80.

**Д**ля проявления высокого потенциала продуктивности животных необходимо обеспечить им оптимальные условия микроклимата в помещениях.

Отклонение параметров микроклимата в зданиях от определенных предельных значений снижает надои на 10-20%, уменьшает прирост живой массы на 20-30%, увеличивает падеж молодняка на 5-40%, сокращает количество лактаций на 15-20% по стаду повышает затраты на ремонт технологического оборудования, на единицу продукции, уменьшает срок службы животноводческих зданий в 3 раза [1, 2].

Ежегодно из помещений животноводческих ферм России требуется удалять 166 млрд м<sup>3</sup> водяных паров, 39 млрд м<sup>3</sup> углекислого газа, 1,8 млрд м<sup>3</sup> аммиака, 700 тыс. м<sup>3</sup> сероводорода, 82 тыс. т пыли, патогенную микрофлору [2].

Между специалистами часто возникают разногласия о влиянии отклонений параметров микроклимата от оптимальных значений на продуктивные качества животных. При этом к настоящему времени накоплен огромный объем эмпирического материала [3].

Установлено, что при тепловом стрессе у коров повышается ректальная температура – с нормальной 38,8 до 39,2°C, количество потребления сухого вещества снижается, а среднесуточный надой уменьшается на 7,5 кг [4].

При снижении температуры на 5°C можно увеличить среднесуточный надой с 35 до 45 кг [5]. Оптимальная температура для молочных коров – 10-15°C. В этом диапазоне животные чувствуют себя максимально комфортно, и энергия организма направлена на производство молока. При повышении температуры увеличиваются дыхательная активность, потребление воды, снижаются двигательная активность, потребление корма, что отрицательно сказывается на продуктивности.

Тепловой стресс имеет наибольшую отрицательную корреляцию с удоями [6]. На каждый градус повышения температуры от оптимального значения 10-

15°C среднесуточные надои снижаются на 0,88 кг.

Выявлен эффект запоздалости влияния теплового стресса на снижение частоты доения на период 24-48 ч [7].

Есть немало обзорных статей по системам микроклимата на различных промышленных комплексах. Однако не было проведено всестороннего обзора, который позволил бы понять достижения и оценить потенциал различных систем микроклимата в сельскохозяйственных зданиях.

**Цель исследований** – изучить современные системы микроклимата, определить оптимальные варианты их технической реализации для животноводческих помещений, предложив оптимальный вариант при снижении энергозатрат.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.** Системы микроклимата бывают естественные, принудительные и комбинированные [8]. Разработана схема их классификации [9]. Основа любой системы микроклимата – это поступление свежего воздуха в помещение, его подготовка (подогрев, охлаждение, высушивание, увлажнение, очистка, ионизация, смешивание) и подача, удаление уже отработанного воздуха (напрямую в атмосферу или с последующей обработкой для других целей).

С учетом собственного практического опыта при посещении ферм Центральной части России (ООО «Ферма Рябцева», АО «Зеленоградское», АПК «Родниковое Поле», ЗАО «Совхоз имени Ленина», ТОО АФ Родина, ФГУП Григорьевская, виварий РГАУ-МСХА, ООО «Истринская Сыроварня» и др.) мы объединили классификации действующих и взаимодействующих факторов, напрямую влияющих на микроклимат животноводческих помещений (*рис. 1*).

Для поддержания оптимальных параметров микроклимата необходимо обеспечить воздухообмен, то есть подачу и равномерное распределение воздуха [10].

Системы вентиляции в животноводстве выполняют следующие функции:

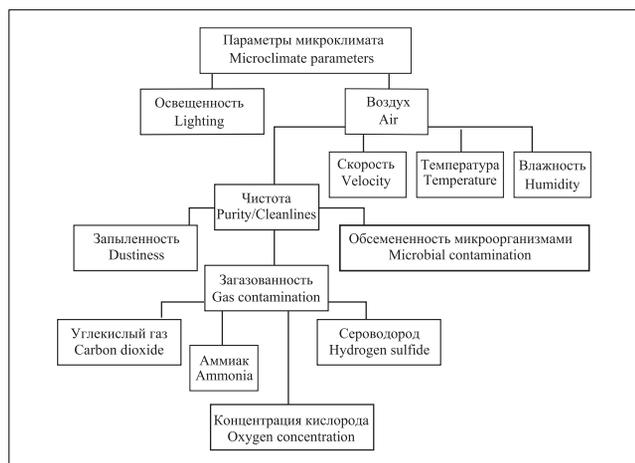


Рис. 1 Факторы, влияющие на микроклимат животноводческих помещений

Fig. 1 Factors affecting the livestock buildings' microclimate

- ассимиляция водяных паров и вредных газов;
- отведение избытков теплоты в жаркий период года;
- удаление пыли и микроорганизмов;
- поставка и распределение необходимого количества чистого воздуха с заданными скоростными параметрами;
- поддержание оптимального температурного и влажностного режима.

Для обеспечения последней функции используют процесс ассимиляции избытков тепла и влаги кондиционно приготовленным приточным воздухом, подаваемым в помещение системой вентиляции или кондиционирования [11]. Для удаления вредных веществ и газов из животноводческих помещений на вентиляцию расходуется около 2 млрд кВт·ч электроэнергии в год, на обогрев дополнительно требуется 1,8 млрд кВт·ч, 0,6 млн м природного газа, 1,3 млн т жидкого и 1,7 млн т твердого топлива [12].

При сравнении эффективности работы принудительной и естественной вентиляции выявлено, что температурно-влажностный индекс *ТНВ* в коровнике с туннельной системой был ниже, а температура на 0,4°C меньше, при одинаковой скорости воздуха внутри помещений (рис. 2) [13]. Закономерны рекомендации дооснащения коровников принудительными системами для улучшения параметров микроклимата [13-16].

При сравнении по экономическому эффекту производства продукции животноводства рентабельность в помещениях с туннельной системой вентиляции выше [18].

В коровниках с естественной системой вентиляции параметры микроклимата изменяются в зависимости от сезона года и зоны помещения [18-20]. Недостаточное количество приточных и вытяжных шахт отрицательно сказывается на микроклимате как летом, так и зимой.



Рис. 2. Вентиляция в коровнике:

a – естественная; b – принудительная [13]

Fig. 2. Ventilation of the cowshed: a – natural; b – forced [13]

В известных системах при подаче воздуха в верхнюю часть помещения и удалении его через вытяжные шахты образуются слабоventилируемые участки в местах кормления, так как животные и кормушки становятся механическими препятствиями на пути воздушных потоков [21]. При этом расход приточного воздуха в 8-10 раз превышает потребность животного.

Проблему теплового стресса молочных коров при беспривязном содержании можно решить с помощью системы автоматического орошения в сочетании с принудительной вентиляцией [22, 23].

При установке теплообменной блокирующей вентиляционной системы холодный воздух проходит по теплообменному воздуховоду, где подогревается за счет тепла, выделяемого животными, и конденсации водяных паров (рис. 3) [24]. Через отверстия в распределительном воздуховоде подогретый воздух подается к животным. Образуется воздушная подушка, и газы аммиака, сероводорода, углекислого газа удаляются через шахты, опущенные до пола, или через специальные отверстия в нижней части дверей.

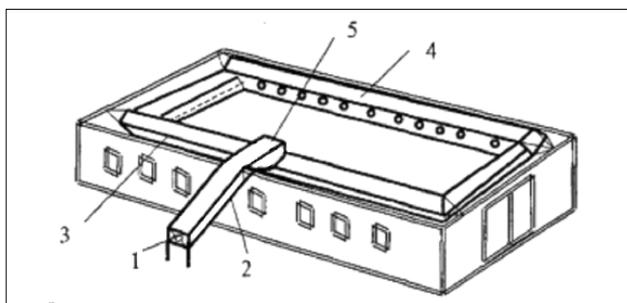


Рис. 3. Система установки вентиляции в животноводческом помещении: 1 – наружный вентилятор; 2 – короб; 3 – теплообменный воздуховод; 4 – распределительный воздуховод; 5 – шахта

Fig. 3. The installation of ventilation in the livestock building: 1 – outdoor fan; 2 – box; 3 – heat exchange air duct; 4 – distribution air duct; 5 – shaft

Кроме того, разработана система вентиляции на основе теплонасосных установок (рис. 4) (Петров А.М., 2013). Низкопотенциальный источник тепла (атмосферный воздух) поступает в тепловой насос, а в испарителе рабочее тело (хладагент) находится под низким давлением и кипит при невысокой температуре,

поглощая теплоту низкопотенциального источника. Затем рабочее тело сжимается в компрессоре и поступает в конденсатор, где при более высоких давлении и температуре конденсируется, направляясь по системе вентиляции. Подогретый воздух транспортируется по воздуховодам в телятник и смешивается с внутренним воздухом помещения.

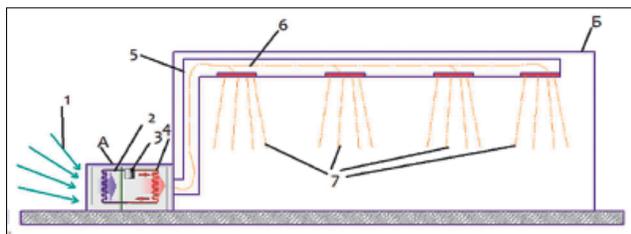


Рис. 4. Схема системы вентиляции на базе теплового насоса в животноводческом помещении: 1 – низкопотенциальный источник тепла; 2 – теплообменник-испаритель; 3 – компрессор; 4 – теплообменник-конденсатор; 5 – воздуховод; 6 – тепловой поток; 7 – внутренний воздух помещения; А – тепловой насос; Б – телятник

Fig. 4. The diagram of a heat pump ventilation system in a livestock building: 1 – low-grade heat source; 2 – heat exchanger-evaporator; 3 – compressor; 4 – heat exchanger-condenser; 5 – air duct; 6 – heat flow; 7 – building indoor air; А – heat pump; Б – calf shed

Факторы окружающей среды (температура, влажность, скорость воздуха за пределами коровника) влияют на производительность молочного стада [10]. Отмечены наиболее статистически значимые показатели:

- отрицательная корреляция ( $r = 0,2-0,5$ ) между температурой воздуха и молочной продуктивностью;
- положительная корреляция ( $r = 0,4$ ) между влажностью воздуха и суточным удоем молока.

Относительная влажность влияет на физиологическое состояние коров. Например, при увеличении этого показателя нарушается терморегуляция животных. Высокая относительная влажность при высокой температуре внутреннего воздуха существенно ухудшает их состояние. При низкой температуре усиливается теплоотдача, а при нормальной температуре и повышенной относительной влажности пар конденсируется на полу, на стенках и подстилке, что негативно влияет на здоровье животных [25-28].

Для увеличения воздушного потока и минимизации проникновения влаги предлагается использовать перекрытый гребень в зоне конька крыши [29]. Доказан эффект установки подобного конька с подветренной стороны (рис. 5).

Компьютерное моделирование и последующие натурные испытания дали возможность сравнить результаты воздействия ветра на крыши различных вариаций, что важно знать при строительстве новых коровников [30]. Коэффициент детерминации совпадения результатов компьютерного моделирования и на-

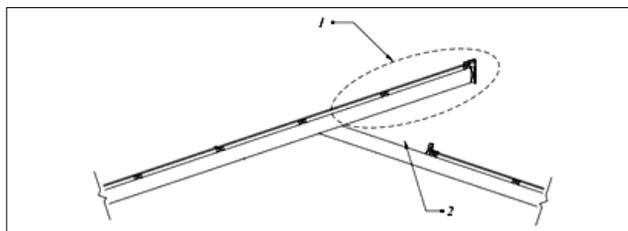


Рис. 5. Перекрытый гребень конька крыши: 1 – перекрывающий конек; 2 – перекрытый гребень

Fig. 5. Overlapped roof ridge: 1 – overlapping ridge; 2 – overlapped ridge

турных замеров составил 0,8157.

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.** Для экономии энергопотребления, вместо принудительной системы (с шахтами), мы предлагаем перейти на естественно-гибридную вентиляцию (рис. 6).

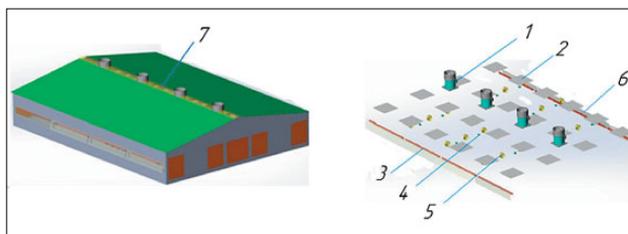


Рис. 6. Естественно-гибридная вентиляция: 1 – система удаления воздуха; 2 – осветительное оборудование; 3 – нагревательный элемент; 4 – датчики; 5 – вентилятор с распылительной форсункой; 6 – створка; 7 – световой конек

Fig. 6. Natural and hybrid ventilation: 1 – air removal system; 2 – lighting equipment; 3 – heating element; 4 – sensors; 5 – fan with a spray nozzle; 6 – sash; 7 – light ridge

Она осуществляется в несколько этапов:

1. Контроллер подает сигнал на привод створок окон для их открытия. После открытия створок воздух начинает проникать во внутреннее пространство коровника. Одновременно с открытием створок окон контроллер проводит опрос датчиков температуры и влажности, в случае отклонения одного из параметров от заданной нормы контроллер включает форсунки с жидкостью или нагревательные элементы (находятся под окнами).

2. Чтобы воздушный поток распространялся равномерно по всему коровнику, контроллер подает сигнал на включение вентиляторов и на привод вентиляторов о необходимости встать в положение 1. После того как набралось достаточное количество воздуха, контроллер подает сигнал на приводы створок о закрытии.

3. Через некоторое время воздух в помещении коровника становится загазованным, тогда срабатывает один из датчиков. Контроллер, принимая сигнал от датчиков о превышении предельно допустимой концентрации (углекислый газ, сероводород, аммиак), совершает ряд одновременных операций, откры-

вая дверцы у труб системы удаления воздуха и подавая на привод вентиляторов сигнал о необходимости встать в положение 2, и весь воздух начинает подниматься вверх.

4. Далее контроллер подает сигнал на привод створок для их открытия и через заданное время отключает привод вентилятора и сам вентилятор, а также закрывает дверцы у труб системы удаления воздуха.

При недостаточной скорости удаления воздуха система оборудована двигателями с вытяжными вентиляторами.

5. Все вышеописанные действия повторяются.

6. В случае недостаточности естественного освещения через створки и световой конек на крыше датчик подает сигнал на контроллер, который включает светильники.

Контроллер оснащен часами астрономического времени и отключает все освещение или его большую часть при наступлении определенных обстоятельств, заложённых в программный код.

Проведен расчет убытков от теплового стресса на базе молочной фермы с естественной системой вентиляции для содержания 480 дойных коров (Тульская область) с использованием нескольких показателей:

длительность периода жары (>22°C)	60 сут.;
количество дойных коров	480 гол.;
среднесуточный удой на 1 дойную корову	37 кг;
снижение удоев от теплового стресса (из-за сокращения потребления корма)	10%;
выбраковка коров за период жары	1%;
снижение оплодотворяемости по стаду	4%;
цена реализации молока	33 руб.

При углубленном экономическом расчете для конкретной фермы целесообразно учитывать максимальное количество возможных факторов.

Суточный удой на ферме от всего поголовья равен 17 760 кг. Потери от снижения продуктивности из-за теплового стресса составили 1776 кг/сут., что эквивалентно 58 608 руб./сут. В результате несвоевременного оплодотворения за указанный период недополучено 19 гол. молодняка, или 237 500 тыс. руб. Убытки от выбраковки коров – 480 000 руб. Всего общие потери за 60 дн. достигли 4 233 980 руб.

Для расчета эффективности гибридной системы и подбора наиболее подходящей компоновки оборудования провели теоретическое моделирование в программном комплексе Solidworks. Заданные входные данные были следующими: температура воздуха 33°C, погода ясная, скорость движения наружного воздуха не более 1 м/с. В помещении содержатся полновозрастные здоровые коровы 1-4 лактации, средней живой массы 550 кг, черно-пестрой породы. Забор свежего воздуха в помещения осуществлялся через открытые окна. Для удаления воздуха на коньке установлены 10 вытяжных шахт Sagraда, тип

820/К/3-6/38,5/400/L, мощность 0,55 кВт, скорость вращения лопаток вентилятора 900 об/мин, производительность 19 700 м<sup>3</sup>/ч.

При моделировании использовали вентиляторы Munters, типа MFS52-2.0hp. Их энергопотребление при максимальной мощности – 1,5 кВт.

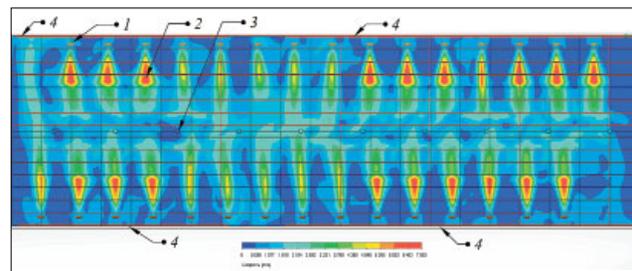


Рис. 7. Скорость распространения воздуха в коровнике, м/с: 1 – вентиляторы; 2 – факел распыла воздушно-водяной смеси на высоте 1500 мм от уровня пола; 3 – вытяжные шахты; 4 – оконные проемы

Fig. 7. Air propagation velocity in the cowshed, m/s: 1 – fans; 2 – spray torch of the air-water mixture at a height of 1500 mm from the floor level; 3 – exhaust shafts; 4 – window openings

Максимальная скорость распространения воздуха в коровнике на высоте 1500 мм достигает 7 м/с на кормовом столе, а в центре помещения, в местах отдыха животных – не менее 2 м/с (рис. 7). Если каждый вентилятор доработать заслонками для направления воздушного потока и использовать форсунки для создания водяного тумана, то гибридная система вентиляции сможет предотвратить последствия теплового стресса.

Для расчета энергозатрат введем допущение, что система вентиляции работает на полную мощность 18 ч в день, остальное время она отключена, обслуживание в стоимость не включено. При стоимости электроэнергии 4,57 руб. за 1 кВт, использовании в расчетной модели 32 вентиляторов и 10 шахт общая сумма энергопотребления за 60 дн. равна 57 780 кВт, или 264 054,60 руб. за период. Расчет стоимости установки всей гибридной системы не проводили, так как это целесообразно делать для конкретной фермы. Определили только предварительную стоимость.

При условии, что потери денежных средств во время теплового стресса равны 4 233 980 руб., а затраты на электроэнергию 264 054,60 руб., экономия составляет 3 969 926 руб. в период. Введем допущение, что окупаемость затрат на систему составляет 3 года. Эта цифра основана на предварительной оценке стоимости монтажа системы и ее себестоимости.

Полученные данные свидетельствуют о том, что установка гибридной системы вентиляции на ферме на 480 коров станет целесообразным вложением.

**Выводы**

1. Проанализировали существующие современные решения устройства как естественной, так и при-

нудительной (тоннельной) систем вентиляции.

2. Установили, что естественная вентиляция в коровниках в большинстве случаев не обеспечивает необходимый уровень показателей микроклимата. Природительная система вентиляции справляется с этой задачей, но она энергозатратна.

3. Предложили использовать естественно-гибридную систему вентиляции, которая обеспечит необходимые параметры микроклимата в животноводческих помещениях и снизит энергозатраты.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мартынова Е.Н., Ястребова Е.А. Физиологическое состояние коров в зависимости от микроклимата помещений // *Достижения науки и техники АПК*. 2013. №8. С. 53-56.
2. Наливайко А.П. Система регулирования микроклимата на фермах и комплексах КРС // *Научно-образовательный потенциал молодежи в решении актуальных проблем XXI века*. 2017. №6. С. 177-180.
3. Игнаткин И.Ю., Курячий М.Г. Системы вентиляции и влияние параметров микроклимата на продуктивность свиней // *Вестник НГИЭИ*. 2012. №10(17). С. 16-34.
4. Yue S.M., Yang C., Zhou J., Wang Z.S., Wang L.Z., Peng Q.H., Xue B. Effect of heat stress on intake, rumen physiology, milk production and composition and supplementation of dietary fiber and dietary fats to alleviate heat stress: A review. *Pakistan journal of agricultural sciences*. 2020. Vol. 57. Iss. 5. 1421-1427.
5. Liu J.J., Li L.Q., Chen X.L., Lu Y.Q., Wang D. Effects of heat stress on body temperature, milk production, and reproduction in dairy cows: a novel idea for monitoring and evaluation of heat stress: A review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2019. Vol. 32. Iss. 9. 1332-1339.
6. Dahl G.E., Tao S., Laporta J. Heat Stress Impacts Immune Status in Cows Across the Life Cycle. *Frontiers in veterinary science*. 2020. Vol. 7. 116.
7. Wildridge A.M., Thomson P.C., Garcia S.C., Clark C.E.F., Kerrisk K.L. Short communication: The effect of temperature-humidity index on milk yield and milking frequency of dairy cows in pasture-based automatic milking systems. *Journal of Dairy Science*. 2018 N101(5). 4479-4482.
8. Тесленко И.И., Хабаху С.Н., Нормов Д.А. Методика оценки и выбора безопасных систем микроклимата животноводческих помещений // *Чрезвычайные ситуации: промышленная и экологическая безопасность*. 2013. №1-2. С. 77-79.
9. Тесленко И.И. Обзор и классификация систем обеспечения безопасных параметров микроклимата в животноводческих помещениях // *Чрезвычайные ситуации: промышленная и экологическая безопасность*. 2013. №3-4. С. 157-166.
10. Dovlatov I.M., Yuferev L.Yu., Mikaeva S.A., Mikaeva A.S., Zheleznikova O.E. Development and testing of combined germicidal recirculator. *Light & Engineering*. 2021. Vol. 29. Iss. 3. 43-49.
11. Растимешин С.А., Трунов С.С., Маслова А.А. Формирование тепло-влажностного режима коровника // *Вестник НГИЭИ*. 2016. №4(59). С. 106-111.
12. Наливайко А.П. Система регулирования микроклимата на фермах и комплексах КРС // *Научно-образовательный потенциал молодежи в решении актуальных проблем XXI века*. 2017. №6. С. 177-180.
13. Bleizgys R., Bagdoniene I. Control of ammonia air pollution through the management of thermal processes in cowsheds. *Science of the total environment*. 2016. Vol. 568. 990-997.
14. Tikhomirov D., Izmailov A., Lobachevsky Y., Tikhomirov A. Energy Consumption Optimization in Agriculture and Development Perspectives. *International journal of energy optimization and engineering*. 2020. Vol. 9. Iss. 4. 1-19.
15. Новиков Н.Н. Решение проблемы микроклимата, автоматизации процессов и теплоснабжения на животноводческих фермах // *Вестник ВНИИМЖ*. 2014. №2(14). С. 102-111.
16. Андрианов Е.А., Андрианов А.М., Андрианов А.А. Организация вентиляции животноводческих помещений с использованием ресурсосберегающих технологий // *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2014. №4(44). С. 91-98.
17. Nowakowicz-Debek B., Wlazlo L., Szymula A., Ossowski M., Kasela M., Chmielowiec-Korzeniowska A., Bis-Wencel H. Estimating Methane Emissions from a Dairy Farm Using a Computer Program. *Atmosphere*. 2020. Vol. 11. Iss. 8. 803.
18. Довлатов И.М., Смирнов А.А., Павкин Д.Ю., Заикин В.П. Технология и средство для улучшения микроклимата животноводческих помещений // *Вестник НГИЭИ*. 2020. №4(107). С. 34-43.
19. Tomasello N., Valenti F., Cascone G. Development of a CFD Model to Simulate Natural Ventilation in a Semi-Open Free-Stall Barn for Dairy Cows. *Buildings*. 2019. Vol. 9. Iss. 8. 183.
20. Мартынова Е.Н., Ястребова Е.А. Особенности микроклимата коровников с естественной системой вентиляции // *Ветеринария, зоотехния и биотехнология*. 2015. №6. С. 52-56.
22. D'Emilio A., Porto S.M.C., Cascone G., Bella M., Gulino M. Mitigating heat stress of dairy cows bred in a free-stall barn by sprinkler systems coupled with forced ventilation. *Journal of agricultural engineering*. 2017. Vol. 48. Iss. 4. 691. 190-195.
23. Tu R., Li J.Q., Hwang Y.H. Fresh air humidification in winter using desiccant wheels for cold and dry climate regions: Optimization study of humidification processes. *International journal of refrigeration-revue internationale du froid*. 2020. Vol. 118. 121-130.
24. Лавров И.М., Пожидаев Г.И., Демин В.А. Энергосберегающая



система вентиляции животноводческих помещений с самообогревом // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2003. N4(12). С. 228-231.

25. Mylostyvyi R., Chernenko O. Correlations between Environmental Factors and Milk Production of Holstein Cows. *Data*. 2019. Vol. 4. Iss. 3. 103.

26. Hammami H., Bormann J., M'hamdi N., Montaldo H.H., Gengler N. Evaluation of heat stress effects on production traits and somatic cell score of Holsteins in a temperate environment. *Journal of Dairy Science*. 2013. N96. 1844-1855.

27. Chung H., Li J., Kim Y. Using implantable biosensors and

wearable scanners to monitor dairy cattle's core body temperature in real-time. *Computers and electronics in agriculture*. 2020. Vol. 17. 105453.

28. Rizzo M., Monteverde V., Arfuso F., Picciony G. Variation in and relationship among environmental condition and total locomotor activity in dairy cows. *Large animal review*. 2017. Vol. 23. N1. 23-27.

30. De Paepe M. et al. Airflow measurements in and around scale model cattle barns in a wind tunnel: Effect of ventilation opening height. *Biosystems engineering*. 2012. Vol. 113. N1. 22-32.

## REFERENCES

1. Martynova E.N., Yastrebova E.A. Fiziologicheskoe sostoyanie korov v zavisimosti ot mikroklimata pomeshcheniy [Physiological state of cows depending on house microclimate]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2013. N8. 53-56 (In Russian).

2. Nalivayko A.P. Sistema regulirovaniya mikroklimata na fermakh i kompleksakh KRS [The system of climate control on farms and cattle complexes]. *Nauchno-obrazovatel'nyy potentsial molodezhi v reshenii aktual'nykh problem XXI veka*. 2017. N6. 177-180 (In Russian).

3. Ignatkin I.Yu., Kuryachiy M.G. Sistemy ventilyatsii i vliyaniye parametrov mikroklimata na produktivnost' sviney [Ventilation systems and effect climate parameters on the productivity of pigs]. *Vestnik NGIEI*. 2012. N10(17). 16-34 (In Russian).

4. Yue S.M., Yang C., Zhou J., Wang Z.S., Wang L.Z., Peng Q.H., Xue B. Effect of heat stress on intake, rumen physiology, milk production and composition and supplementation of dietary fiber and dietary fats to alleviate heat stress: A review. *Pakistan journal of agricultural sciences*. 2020. Vol. 57. N5. 1421-1427 (In English).

5. Liu J.J., Li L.Q., Chen X.L., Lu Y.Q., Wang D. Effects of heat stress on body temperature, milk production, and reproduction in dairy cows: a novel idea for monitoring and evaluation of heat stress: A review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2019. Vol. 32. N9. 1332-1339 (In English).

6. Dahl G.E., Tao S., Laporta J. Heat Stress Impacts Immune Status in Cows Across the Life Cycle. *Frontiers in veterinary science*. 2020. Vol. 7. 116 (In English).

7. Wildridge A.M., Thomson P.C., Garcia S.C., Clark C.E.F., Kerrisk K.L. Short communication: The effect of temperature-humidity index on milk yield and milking frequency of dairy cows in pasture-based automatic milking systems. *Journal of Dairy Science*. 2018. N101(5). 4479-4482 (In English).

8. Teslenko I.I., Khabakhu S.N., Normov D.A. Metodika otsenki i vybora bezopasnykh sistem mikroklimata zhivotnovodcheskikh pomeshcheniy [Methodology for assessing and selecting safe microclimate systems for livestock buildings]. *Chrezvychaynye situatsii: promyshlennaya i ekologicheskaya bezopasnost'*. 2013. N1-2. 77-79 (In Russian).

9. Teslenko I.I. Obzor i klassifikatsiya sistem obespecheniya bezopasnykh parametrov mikroklimata v zhivotnovodcheskikh pomeshcheniyakh [Review and classification of systems for ensuring safe microclimate parameters in livestock buildings].

*Chrezvychaynye situatsii: promyshlennaya i ekologicheskaya bezopasnost'*. 2013. N3-4. 157-166 (In Russian).

10. Dovlatov I.M., Yuferev L.Yu., Mikaeva S.A., Mikaeva A.S., Zheleznikova O.E. Development and testing of combined germicidal recirculator. *Light & Engineering*. 2021. Vol. 29. N3. 43-49 (In English).

11. Rastimeshin S.A., Trunov S.S., Maslova A.A. Formirovaniye teplo-vlazhnostnogo rezhima korovnika [The formation of a heat mode barn]. *Vestnik NGIEI*. 2016. N4(59). 106-111 (In Russian).

12. Nalivayko A.P. Sistema regulirovaniya mikroklimata na fermakh i kompleksakh KRS [The system of climate control on farms and cattle complexes]. *Nauchno-obrazovatel'nyy potentsial molodezhi v reshenii aktual'nykh problem XXI veka*. 2017. N6. 177-180 (In Russian).

13. Bleizgys R., Bagdoniene I. Control of ammonia air pollution through the management of thermal processes in cowsheds. *Science of the total environment*. 2016. Vol. 568. 990-997 (In English).

14. Tikhomirov D., Izmailov A., Lobachevsky Y., Tikhomirov A. Energy Consumption Optimization in Agriculture and Development Perspectives. *International journal of energy optimization and engineering*. 2020. Vol. 9. N4. 1-19 (In English).

15. Novikov N.N. Reshenie problemy mikroklimata, avtomatizatsii protsessov i teplosnabzheniya na zhivotnovodcheskikh fermakh [Solving the problem of microclimate, process automation and heat supply at livestock farms]. *Vestnik VNIIMZH*. 2014. N2(14). 102-111 (In Russian).

16. Andrianov E.A., Andrianov A.M., Andrianov A.A. Organizatsiya ventilyatsii zhivotnovodcheskikh pomeshcheniy s ispol'zovaniem resursosberegayushchikh tekhnologiy [Application of resource-saving technologies in indoor air ventilation systems of livestock houses]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2014. N4(44). 91-98 (In Russian).

17. Nowakowicz-Debek B., Wlazolek L., Szymula A., Ossowski M., Kasela M., Chmielowiec-Korzeniowska A., Bis-Wencel H. Estimating Methane Emissions from a Dairy Farm Using a Computer Program. *Atmosphere*. 2020. Vol. 11. N8. 803 (In English).

18. Dovlatov I.M., Smirnov A.A., Pavkin D.Yu., Zaikin V.P. Tekhnologiya i sredstvo dlya uluchsheniya mikroklimata zhivotnovodcheskikh pomeshcheniy [Technology and means for improving the microclimate of livestock premises]. *Vestnik*

NGIEI. 2020. N4(107). 34-43 (In Russian).

19. Tomasello N., Valenti F., Cascone G. Development of a CFD Model to Simulate Natural Ventilation in a Semi-Open Free-Stall Barn for Dairy Cows. *Buildings*. Vol. 9. N8. 183 (In English).

20. Martynova E.N., Yastrebova E.A. Osobennosti mikroklimata korovnikov s estestvennoy sistemoy ventilyatsii [Features climate barns with natural ventilation system]. *Veterinariya, zootekhnika i biotekhnologiya*. 2015. N6. 52-56 (In Russian).

22. D'Emilio A., Porto S.M.C., Cascone G., Bella M., Gulino M. Mitigating heat stress of dairy cows bred in a free-stall barn by sprinkler systems coupled with forced ventilation. *Journal of agricultural engineering*. 2017. Vol. 48. N4. 691. 190-195 (In English).

23. Tu R., Li J.Q., Hwang Y.H. Fresh air humidification in winter using desiccant wheels for cold and dry climate regions: Optimization study of humidification processes. *International journal of refrigeration-revue internationale du froid*. 2020. Vol. 118. 121-130 (In English).

24. Lavrov I.M., Pozhidaev G.I., Dyomin V.A. Energoberegayushchaya sistema ventilyatsii zhivotnovodcheskikh pomeshcheniy s samoobogrevom [Energy-saving self-heating ventilation system for livestock buildings] *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2003. N 4(12). 228-231 (In Russian).

25. Mylostyvyi R., Chernenko O. Correlations between Environmental Factors and Milk Production of Holstein Cows. *Data*. 2019. Vol.4. N3. 103 (In English).

26. Hammami H., Bormann J., M'hamdi N., Montaldo H.H., Gengler N. Evaluation of heat stress effects on production traits and somatic cell score of Holsteins in a temperate environment. *J. Dairy Sci.* 2013, N 96. 1844-1855 (In English).

27. Chung H., Li J., Kim Y. Using implantable biosensors and wearable scanners to monitor dairy cattle's core body temperature in real-time. *Computers and electronics in agriculture*. 2020. Vol. 17. 105453 (In English).

28. Rizzo M., Monteverde V., Arfuso F., Picciony G. Variation in and relationship among environmental condition and total locomotor activity in dairy cows. *Large animal review*. 2017. Vol. 23. N1. 23-27 (In English).

30. De Paepe M., et al. Airflow measurements in and around scale model cattle barns in a wind tunnel: Effect of ventilation opening height. *Biosystems engineering*. 2012. Vol. 113. N1. 22-32 (In English).

#### **Конфликт интересов.**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### **Conflict of interest.**

The authors declare no conflict of interest.

#### **Заявленный вклад соавторов:**

Довлатов И.М. – научное руководство, формулирование основных направлений исследования, разработка теоретических предпосылок, доработка текста, формирование общих выводов и литературный анализ.

Юрочка С.С. – литературный анализ, сбор и обработка материала, концепция и дизайн естественно-гибридной вентиляции.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

#### **Coauthors' contribution:**

Dovlatov I.M. – research supervision, formulation of the main research directions, development of theoretical premises, text proofreading, formulation of general conclusions and literary analysis.

Yurochka S.S. – literature review, data collection and processing, natural-hybrid ventilation concept and design

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию

Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on

The paper was accepted for publication on

02.07.2021

14.09.2021