

## ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.22:697.957:636.2

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-3-33-39>

## Алгоритм управления скоростью воздушного потока при локальном обдуве коров в условиях промышленного животноводства

*Ю.Г. Иванов<sup>1</sup>, Д.А. Понизовкин<sup>2</sup>, С.А. Андреев<sup>3</sup>*<sup>1,3</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия<sup>2</sup> Московский государственный колледж электромеханики и информационных технологий; г. Москва, Россия<sup>1</sup> [iy.electro@rgau-msha.ru](mailto:iy.electro@rgau-msha.ru); <https://orcid.org/0000-0002-4766-9532><sup>2</sup> [ponizovkind@yandex.ru](mailto:ponizovkind@yandex.ru)<sup>3</sup> [energo-andreev@rgau-msha.ru](mailto:energo-andreev@rgau-msha.ru); <https://orcid.org/0000-0001-8608-9904>

**Аннотация.** Температурный стресс отрицательно влияет на физиологическое состояние и показатели продуктивности коров. Анализ результатов экспериментальных исследований выявил зависимость частоты пульса коров от температуры и влажности окружающей среды. Локальный обдув животных способствует устойчивости показателей их физиологического состояния к воздействию повышенной температуры и влажности воздуха. Для реализации локального обдува животных необходимо разработать алгоритм управления скоростью воздушного потока. Разработке алгоритма предшествовали экспериментальные исследования зависимости частоты пульса коров от температуры и влажности окружающей среды при различной скорости воздушного потока. Эксперимент проводили на коровах черно-пестрой породы средним возрастом 3,5 года и массой 590 кг. Для математического описания анализируемой зависимости предложено использовать метод вложенных функций и линейную множественную регрессию. Приведены численные значения параметров математических моделей, полученных из условия минимума суммы среднеквадратических отклонений экспериментальных и теоретических значений частоты пульса для обоих методов. Определена наибольшая эффективность трехфакторной линейной модели, по результатам преобразования которой сформирован алгоритм управления скоростью потока воздуха. Практическое использование алгоритма заключается в подстановке в него требуемого значения частоты пульса животных, текущих значений температуры и относительной влажности воздуха с последующим расчетом скорости воздушного потока. Процессорная реализация полученного алгоритма при плавном управлении скоростью воздушного потока целесообразна посредством изменения частоты питающего напряжения асинхронного электродвигателя.

**Ключевые слова:** температурный стресс; частота пульса; температура воздуха; влажность воздуха; локальный обдув; скорость воздушного потока; алгоритм управления скоростью воздушного потока

**Для цитирования:** Иванов Ю.Г., Понизовкин Д.А., Андреев С.А. Алгоритм управления скоростью воздушного потока при локальном обдуве коров в условиях промышленного животноводства // Агроинженерия. 2025. Т. 27, № 3. С. 33-39. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-3-33-39>

## ORIGINAL ARTICLE

## Algorithm for controlling the local airflow rate when blowing on cows in industrial livestock farming

*Yu.G. Ivanov<sup>1</sup>, D.A. Ponizovkin<sup>2</sup>, S.A. Andreev<sup>3</sup>*<sup>1,3</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Moscow, Russia<sup>2</sup> Moscow State College of Electromechanics and Information Technologies; Moscow, Russia<sup>1</sup> [iy.electro@rgau-msha.ru](mailto:iy.electro@rgau-msha.ru); <https://orcid.org/0000-0002-4766-9532><sup>2</sup> [ponizovkind@yandex.ru](mailto:ponizovkind@yandex.ru)<sup>3</sup> [energo-andreev@rgau-msha.ru](mailto:energo-andreev@rgau-msha.ru); <https://orcid.org/0000-0001-8608-9904>

**Abstract.** Temperature stress affects cows' physiological condition and productivity indicators. The experimental studies revealed the relationship between cows' heart rate and the temperature and humidity of the environment. Local airflow contributes to the stability of animals' physiological state indicators against the effects of high temperature and humidity. The authors prove the necessity of controlling the airflow rate for blowing on animals when environmental parameters change. For this purpose, they propose to design an algorithm for controlling

local airflow to treat animals. The algorithm was developed after experimental studies of the relationship between the cow heart rate and ambient temperature and humidity at different airflow rates. The experiment was conducted on black-motley cows with an average age of 3.5 years and a weight of 590 kg. To provide a mathematical description of the analyzed relationship it was proposed to use the method of nested functions and linear multiple regression. The article presents numerical values of the parameters of mathematical models obtained from the condition of minimum sum of standard deviations of experimental and theoretical values of the heart rate for both methods. The greatest efficiency of the three-factor linear model has been determined, and the algorithm of the airflow rate control has been made based on the results of its transformation. Practical use of the algorithm consists in substituting the required value of the animal heart rate, current values of temperature and relative humidity of air with the subsequent calculation of the airflow rate. The processor-based implementation of the obtained algorithm for smooth control of the airflow rate is possible by changing the supply voltage frequency of the asynchronous electric motor.

**Keywords:** temperature stress; heart rate; air temperature; air humidity; local blow-on; airflow rate; airflow rate control algorithm

**For citation:** Ivanov Yu.G., Ponizovkin D.A., Andreev S.A. Algorithm for controlling the local airflow rate when blowing on cows in industrial livestock farming. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2025;27(3):33-39 (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-3-33-39>

### Введение

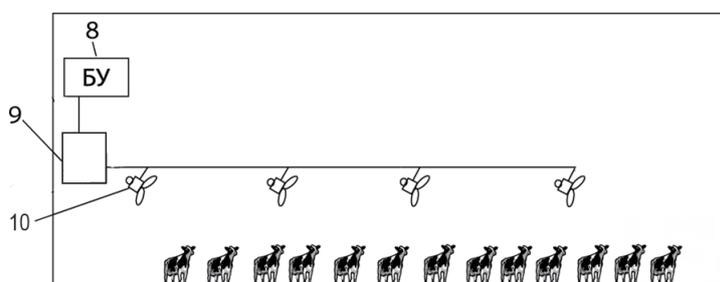
В условиях промышленного животноводства ввиду несовершенства конструкций молочных ферм параметры микроклимата могут существенно отличаться от научно обоснованных значений [1, 2]. Особенно часто это наблюдается в летнее время, а также в животноводческих помещениях, эксплуатируемых в южных районах страны. Повышенная температура воздуха, сопровождающаяся высокой влажностью, вызывает у коров температурный стресс [3, 4]. Установлено, что превышение температуры окружающей среды нормированного значения только на один градус вызывает уменьшение суточного удоя на 1 л [5]. Не менее тяжело животными переносятся превышение относительной влажности. Например, при увеличении влажности с 85 до 95% молочная производительность коров снижается на 12% [6]. Температурный стресс проявляется изменением частоты

сердечных сокращений (частоты пульса) и частоты дыхания [7].

Для обеспечения устойчивости показателей физиологического состояния к воздействию повышенной температуры и влажности используется локальный обдув животных [8]. Локальный обдув реализуется вентиляторами небольшой производительности, изменяющими режим теплоотдачи телами животных (рис. 1).

В результате локального обдува происходит снижение или даже исключение последствий температурного стресса (рис. 2-4).

Для эффективного управления скоростью воздушного потока при локальном обдуве ранее предлагалось использовать комбинированный принцип формирования управляющего воздействия, при котором происходит одновременный контроль параметров физиологического состояния животных и текущих значений температуры и влажности окружающей среды [9, 10].



**Рис. 1. Технологическая схема локального обдува животных:**

- 1 – вентиляционный конек; 2 – управляемая заслонка; 3 – боковой проем; 4 – управляемые шторы; 5 – осевые вентиляторы; 6 – датчик температуры; 7 – датчик влажности; 8 – блок управления; 9 – регулятор скорости вентиляторов; 10 – электропривод вентилятора

**Fig. 1. Visual pattern of local airflow for animals:**

- 1 – ridge ventilation; 2 – controlled damper; 3 – side opening; 4 – controlled shutter; 5 – axial fans; 6 – temperature sensor; 7 – humidity sensor; 8 – control unit; 9 – fan speed controller; 10 – fan electric drive

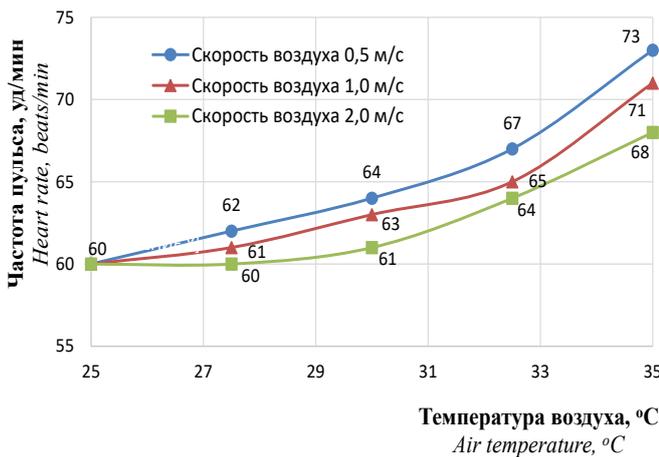


Рис. 2. Изменение частоты пульса при относительной влажности воздуха 50%

Fig. 2. Change in the heart rate at 50% relative humidity

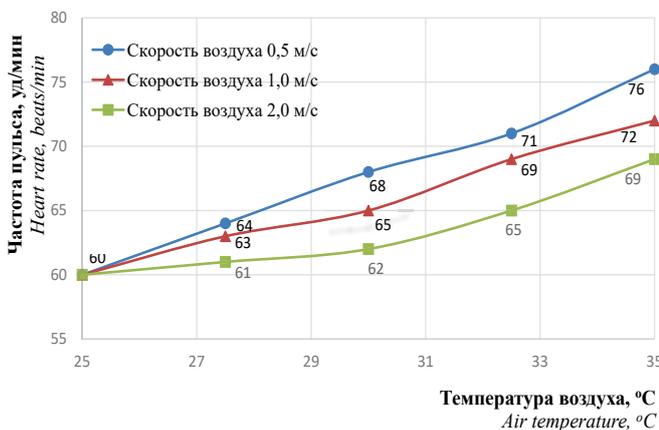


Рис. 3. Изменение частоты пульса при относительной влажности воздуха 62,5%

Fig. 3. Change in the heart rate at a relative humidity of 62,5%

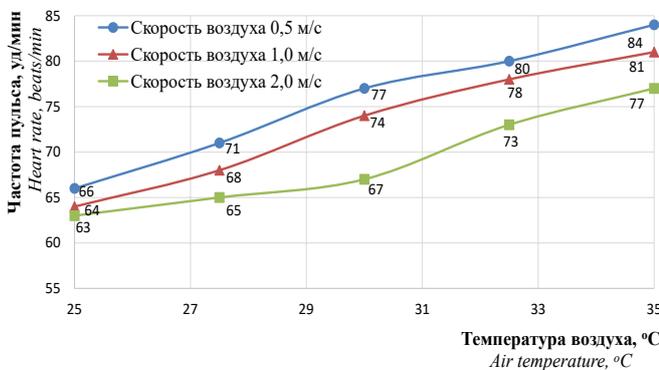


Рис. 4. Изменение частоты пульса при относительной влажности воздуха 75%

Fig. 4. Change in the heart rate at a relative humidity of 75%

Такой принцип управления позволяет осуществлять опережающий локальный обдув животных, не допуская возникновения условий даже для кратковременного температурного стресса.

Вместе с тем в ранее опубликованных статьях не отражается количественная сторона управления, в то время как его практическая реализация требует установления однозначной связи между скоростью воздушного потока, фактическими значениями температуры и влажности воздуха и заданными значениями параметров физиологического состояния животных [11, 12].

**Цель исследований:** разработать алгоритм управления скоростью воздушного потока на основе анализа экспериментальных данных зависимости частоты пульса животных от температуры и влажности воздуха, а также от скорости воздушного потока при локальном обдуве животных.

### Материалы и методы

В качестве исходных материалов использовали результаты экспериментальных исследований зависимости частоты пульса коров от температуры и влажности окружающей среды при различной скорости воздушного потока (рис. 2-4). Эксперимент проводили на коровах черно-пестрой породы. Средний возраст животных – 3,5 года, средняя масса тела – 590 кг. При составлении математического описания исследуемой зависимости применяли методы определения параметров трехфакторных нелинейных полиномиальных моделей, метод узловых точек, метод вложенных функций, а также метод наименьших квадратов для линейной множественной регрессии.

### Результаты и их обсуждение

При анализе экспериментальных данных частоту пульса животных рассматривали как функцию трех переменных:  $Y = f(T; \varphi; V)$ , где  $T$  – температура воздуха, °C;  $\varphi$  – относительная влажность воздуха, %;  $V$  – скорость воздушного потока при локальном обдуве животных, м/с;  $Y$  – частота пульса животных, количество ударов (сердечных сокращений) в 1 мин. При этом температуру и влажность воздуха рассматривали как величины, не зависящие от оператора или от результатов управления, а скорость воздуха – как величину, которая может быть установлена автоматически или вручную [13].

При составлении математического описания зависимости частоты пульса животных от температуры и влажности окружающей среды при различной скорости воздушного потока принималось во внимание требование к максимальной точности отражения им результатов эксперимента при достаточно простой форме для ручной и процессорной реализации.

Трехфакторные нелинейные полиномиальные модели вида

$$y = a_0 + a_1T + a_2V + a_3\varphi + a_4TV + a_5T\varphi + a_6V\varphi + a_7T^2 + a_8V^2 + a_9\varphi^2$$

оказались отвергнутыми вследствие их высокой чувствительности к варьированию параметров, малого объема экспериментального массива и неоднозначности выражения из них зависимости скорости воздушного потока от остальных факторов. Также было решено отказаться от использования нелинейных моделей, составленных методом узловых точек:

$$y = \frac{1}{y_0} (a_1T^2 + a_2T + a_3) \cdot (a_4V^2 + a_5V + a_6) \cdot (a_7\varphi^2 + a_8\varphi + a_9),$$

где  $y_0$  – значение частоты пульса в узловой точке, поскольку такие формы математического описания обеспечивают достаточно точное воспроизведение экспериментальных данных в окрестности узловой точки, но по мере удаления от нее допускают резкое увеличение ошибки.

Более подробно остановились на методе вложенных функций. На первом этапе использования этого метода рассматривали однофакторную зависимость частоты пульса животных от температуры и определяли параметры соответствующих регрессий для трех значений скорости воздушного потока и трех значений влажности:  $y = f_1(T, a, b)$ :

- $y = f_1(T, a, b)$  при  $V = 0,5$  м/с и  $\varphi = 50\%$ ;
- $y = f_1(T, a, b)$  при  $V = 1,0$  м/с и  $\varphi = 50\%$ ;
- $y = f_1(T, a, b)$  при  $V = 2,0$  м/с и  $\varphi = 50\%$ ;
- $y = f_1(T, a, b)$  при  $V = 0,5$  м/с и  $\varphi = 62,5\%$ ;
- $y = f_1(T, a, b)$  при  $V = 1,0$  м/с и  $\varphi = 62,5\%$ ;
- $y = f_1(T, a, b)$  при  $V = 2,0$  м/с и  $\varphi = 62,5\%$ ;
- $y = f_1(T, a, b)$  при  $V = 0,5$  м/с и  $\varphi = 75\%$ ;
- $y = f_1(T, a, b)$  при  $V = 1,0$  м/с и  $\varphi = 75\%$ ;
- $y = f_1(T, a, b)$  при  $V = 2,0$  м/с и  $\varphi = 75\%$ .

На втором этапе рассматривали зависимости параметров  $a$  и  $b$  от скорости воздушного потока при фиксированной влажности воздуха:

- $a = f_2(V, c, d)$  при  $\varphi = 50\%$ ;
- $a = f_2(V, c, d)$  при  $\varphi = 62,5\%$ ;
- $a = f_2(V, c, d)$  при  $\varphi = 75\%$ ;
- $b = f_2(V, i, j)$  при  $\varphi = 50\%$ ;
- $b = f_2(V, i, j)$  при  $\varphi = 62,5\%$ ;
- $b = f_2(V, i, j)$  при  $\varphi = 75\%$ .

На третьем этапе рассматривали зависимости параметров  $c, d, i, j$  от влажности воздуха:

- $c = f_3(\varphi, k, l)$ ;
- $d = f_3(\varphi, m, n)$ ;
- $i = f_3(\varphi, p, q)$ ;
- $j = f_3(\varphi, r, s)$ .

Вид функций  $f_1, f_2$  и  $f_3$  выбирали из ряда двухпараметрических зависимостей (прямой, степенной, гиперболической, показательной, логарифмической и экспоненциальной) по минимуму величины средней ошибки аппроксимации<sup>1</sup>. Наилучшие результаты на всех этапах показали гиперболические функции. Таким образом, общий вид искомой зависимости имеет вид:

$$y = k + \frac{l}{\varphi} + \frac{m + \frac{n}{\varphi}}{V} + \frac{p + \frac{q}{\varphi} + \frac{r + \frac{s}{\varphi}}{V}}{T}. \quad (1)$$

Домножив все члены выражения (1) на произведение  $\varphi VT$ , получили:

$$\varphi VT = k\varphi VT + lVT + \left(m + \frac{n}{\varphi}\right)\varphi T + \left(p + \frac{q}{\varphi} + \frac{r + \frac{s}{\varphi}}{V}\right)\varphi V$$

или

$$\varphi VT = k\varphi VT + lVT + m\varphi T + nT + p\varphi V + qV + r\varphi + s \quad (2)$$

Перенесем все члены, содержащие сомножитель  $V$ , в левую часть выражения (2):

$$\varphi VT - k\varphi VT - lVT - p\varphi V - qV = m\varphi T + nT + r\varphi + s,$$

откуда 
$$V = \frac{(m\varphi + n)T + r\varphi + s}{(\varphi - k\varphi - l)T - p\varphi - q} \quad (3)$$

Выражение (3) отражает зависимость скорости воздушного потока от температуры и влажности воздуха, а также от частоты пульса животных. Входящие в это выражение параметры  $m, n, r, s, k, p, q$  достаточно просто находятся методом наименьших квадратов по соответствующим однофакторным массивам. Это выражение позволяет определить скорость воздушного потока для исключения температурного стресса животных, а методика вычисления входящих в него параметров может оказаться полезной при математическом описании других трехфакторных зависимостей. Вместе с тем нужно признать, что выражение (3) является весьма громоздким и на краях исследуемого диапазона допускает погрешность более чем на 30%.

Принимая во внимание указанные недостатки, для формирования алгоритма управления воздушным потоком предложили еще одно решение, сводящееся к поиску параметров множественной линейной регрессии вида  $Y = a_0 + a_1T + a_2V + a_3\varphi$  анализу статистических характеристик этой регрессии и последующему ее преобразованию относительно переменной  $V$ .

<sup>1</sup> Кремер Н.Ш. Математическая статистика. М.: Юрайт, 2024. 259 с.; Ганичева А.В. Теория вероятностей. СПб.: Лань, 2017. 144 с.

<sup>2</sup> Пронина Л.А. Теория математической обработки измерений. Ч. 2. Метод наименьших квадратов. СПб.: Лань, 2023. 108 с.

Основываясь на экспериментальных данных (табл.), методом наименьших квадратов получено уравнение регрессии вида:

$$Y = 10,2667 + 1,3022T - 2,9619V + 0,344\varphi. \quad (4)$$

В уравнении (4) константа  $a_0 = 10,2667$  определяет агрегированное влияние на частоту пульса не учтенных в модели факторов. Параметр  $a_1$  свидетельствует об увеличении частоты пульса на величину 1,3022 с увеличением температуры на 1°C. Коэффициент  $a_2$  иллюстрирует снижение частоты пульса на величину 2,9619 при увеличении скорости потока воздуха на 1 м/с. Коэффициент  $a_3$  показывает, что с увеличением относительной влажности воздуха на 1% происходит увеличение частоты пульса на 0,344 удара в минуту.

В результате анализа парных коэффициентов корреляции установлены сильная линейная связь<sup>2</sup> между температурой воздуха и частотой пульса и умеренные линейные связи между скоростью потока и влажностью воздуха по отношению к частоте. В то же время между температурой и скоростью воздуха, между температурой и влажностью воздуха, а также между скоростью воздуха и его влажностью линейная связь не обнаружена [14, 15].

Значения дисперсий  $D(x)$ ,  $D_y$  и среднеквадратических отклонений  $s(x)$ ,  $s(y)$ <sup>3</sup> при обозначении анализируемых факторов символом  $x$  с текущим номером  $i$  и количестве  $n = 3$  представлены в таблице.

Для формирования алгоритма управления скоростью воздушного потока при обдуве животных для поддержания заданного значения частоты пульса при различных значениях температуры и влажности окружающей среды выражение (4) было преобразовано относительно  $V$ :

$$V = \frac{10,2667 + 1,3022T + 0,344\varphi - y}{2,9619}. \quad (5)$$

Практическое использование алгоритма (5) сводится к подстановке в него требуемого значения частоты пульса животных, а также текущих значений температуры и относительной влажности воздуха с последующим расчетом скорости воздушного потока. Практическая работа с алгоритмом показала, что он обеспечивает вполне удовлетворительные результаты на исследуемом диапазоне изменения  $T$  и  $V$ . Например, при требуемой частоте пульса 65 ударов в минуту, температуре воздуха 30°C и относительной влажности 62,5% скорость воздушного потока должна составлять 1,96 м/с.

Вместе с тем следует отметить, что использование полученного алгоритма может носить только интерполяционный характер, то есть допускает подстановку значений температуры и влажности воздуха в диапазонах от 25 до 35°C и от 50 до 75% соответственно. Однако это ограничение не сдерживает практического применения алгоритма, поскольку указанные диапазоны охватывают рабочие значения параметров микроклимата. При необходимости расширения диапазонов температуры и влажности эксперимент следует повторить при новых значениях исследуемых факторов и произвести обработку его результатов в описанной последовательности.

Для оперативного использования алгоритма расчет требуемой скорости воздушного потока должен осуществляться простейшим процессором, получающим текущую информацию от датчиков температуры и влажности. На сегодняшний день для привода вентиляторов в условиях промышленного животноводства в большинстве случаев используются асинхронные электродвигатели. Управление частотой вращения таких электродвигателей наиболее эффективно достигается изменением частоты питающего напряжения. Поскольку вентиляторный режим предполагает относительное постоянство нагрузки, то для достижения эффективной

Таблица

Дисперсии и среднеквадратические отклонения

Table

Variations and standard deviations

Для факторов For factors	$D(x) = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n} - \bar{x}^2$	$D(y) = \frac{\sum_{i=1}^n y_i^2}{n} - \bar{y}^2$	$s(x) = \sqrt{D(x)}$	$s(y) = \sqrt{D(y)}$
$Y$ и $T$	12,500	41,257	3,536	6,423
$Y$ и $V$	0,389	41,257	0,624	6,423
$Y$ и $\varphi$	104,167	41,257	10,206	6,423
$T$ и $V$	0,389	12,500	0,624	3,536
$T$ и $\varphi$	104,167	12,500	10,206	3,536
$V$ и $\varphi$	104,167	0,389	10,206	0,624

<sup>3</sup> Письменный Д.Т. Конспект лекций по высшей математике. Полный курс. 10-е изд. М.: АЙРИС-ПРЕСС, 2022. 608 с.

работы электродвигателя напряжение на статоре должно изменяться пропорционально частоте. Частотный способ управления позволяет осуществлять 20-кратное варьирование частотой вращения асинхронного электродвигателя, что делает его пригодным для управления скоростью воздушного потока, при котором частота вращения изменяется в 4 раза.

Сформированный алгоритм может быть также использован при управлении скоростью воздушного потока исключительно по возмущающим воздействиям. При этом контроль фактической частоты пульса животных не производится. Такой принцип управления является более простым при реализации, не требует применения датчиков физиологического состояния и не формирует ложных срабатываний, когда частота пульса будет зависеть от других факторов.

#### Список источников

1. Второй В.Ф., Гордеев В.В., Вторый С.В., Ланцева Е.О. Влияние погодных условий на формирование температурно-влажностного режима в коровнике // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2016. № 3 (23). С. 67-72. EDN: WGWNFB
2. Тимошенко В., Музыка А., Москалёв А.И., Шматко Н. Комфорт коров – залог высокой продуктивности // Животноводство России. 2014. № 8. С. 39-41. EDN: TAOSBH
3. Мартынова Е.Н., Ястребова Е.А. Формирование микроклимата животноводческих помещений под действием температуры наружного воздуха // Молочное и мясное скотоводство. 2012. № 4. С. 24-26. EDN: OZJAGP
4. Aggarwal A., Upadhyay R. Heat stress and animal productivity. New Delhi: Springer. India 2013. 200 p. <https://doi.org/10.1007/978-81-322-0879-2>
5. 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. <https://doi.org/10.31893/jabb.22030>
6. Polsky L., Keyserlingk A.G. Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. *Journal of Dairy Science*. 2017;100(11):8645-8657. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12651>
7. Ruban S., Borshch O.O., Borshch O.V. et al. The impact of high temperatures on respiration rate, breathing condition and productivity of dairy cows in different production systems. *Animal science papers and reports*. 2020;38(1):61-72
8. Иванов Ю.Г., Понизовкин Д.А. Система принудительной вентиляции коровника // Сельский механизатор. 2015. № 8. С. 26-27. EDN: UIOZHF
9. Иванов Ю.Г., Понизовкин Д.А. Обоснование параметров принудительной вентиляции на молочной ферме для летнего периода времени // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2013. № 3 (11). С. 173-175. EDN: RCKAMD
10. Иванов Ю.Г., Борулько В.Г., Андреев С.А. Комбинированная система управления местной вентиляцией в животноводческом помещении // Агроинженерия. 2022. Т. 24, № 6. С. 9-14. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-6-9-14>
11. Иванов Ю.Г., Понизовкин Д.А., Мошонкин А.М., Жумагулов Ж.М. Анализ математических моделей контроля параметров, характеризующих состояние теплового стресса

#### Выводы

1. Локальный обдув коров с управляемой скоростью воздушного потока является перспективным способом повышения устойчивости показателей физиологического состояния к повышенным температуре и влажности окружающей среды.

2. Для математического описания экспериментально установленной зависимости частоты пульса животных от температуры и влажности окружающей среды при различной скорости воздушного потока целесообразно использовать линейную множественную регрессию.

3. Практическое использование сформированного алгоритма заключается в подстановке в него требуемого значения частоты пульса животных, а также текущих значений температуры и относительной влажности воздуха с последующим расчетом скорости воздушного потока.

#### References

1. Vtoroy V.F., Gordeyev V.V., Vtoroy S.V., Lantseva E.O. The weather conditions influence on the temperature-and-humidity conditions' formation in the cowshed. *Vestnik Vserossiyskogo Nauchno-Issledovatel'skogo Instituta Mekhanizatsii Zhivotnovodstva*. 2016;3(23):67-72. (In Russ.)
2. Timoshenko V., Muzyka A., Moskalov A.I., Shmatko N. Cow comfort – assurance of high productivity. *Zhivotnovodstvo Rossii*. 2014;8:39-41. (In Russ.)
3. Martynova E.N., Yastrebova E.A. The formation of stock building microclimate at the influence of air temperature. *Journal of Dairy and Meat Cattle Breeding*. 2012;4:24-26. (In Russ.)
4. Aggarwal A., Upadhyay R. Heat stress and animal productivity. New Delhi: Springer. India 2013. 200 p. <https://doi.org/10.1007/978-81-322-0879-2>
5. 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. <https://doi.org/10.31893/jabb.22030>
6. Polsky L., Keyserlingk A.G. Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. *Journal of Dairy Science*. 2017;100(11):8645-8657. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12651>
7. Ruban S., Borshch O.O., Borshch O.V. et al. The impact of high temperatures on respiration rate, breathing condition and productivity of dairy cows in different production systems. *Animal science papers and reports*. 2020;38(1):61-72
8. Ivanov Yu.G., Ponizovkin D.A. System of the cowshed compulsory ventilation. *Selskiy Mekhanizator*. 2015;(8):26-27. (In Russ.)
9. Ivanov Yu.G., Ponizovkin D.A. Justification of the parameters of forced ventilation on a dairy farm for the summer time. *Vestnik Vserossiyskogo Nauchno-Issledovatel'skogo Instituta Mekhanizatsii Zhivotnovodstva*. 2013;3(11):173-175. (In Russ.)
10. Ivanov Yu.G., Borulko V.G., Andreev S.A. Combined local ventilation control system in a livestock house. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2022;24(6):9-14. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-6-9-14>
11. Ivanov Yu.G., Ponizovkin D.A., Moshonkin A.M., Zhumagulov Zh.M. The analysis of parameters control of the animals thermal stress state characterizing's mathematical models on dairy farms. *Machinery and Technologies in Livestock*. 2023;4(52):36-41. (In Russ.)

животных на молочных фермах // Техника и технологии в животноводстве. 2023. № 4 (52). С. 36-41. EDN: DUTWIL

12. Борулько В.Г., Иванов Ю.Г., Понизовкин Д.А., Шлычкова Н.А. Математическая модель влияния параметров микроклимата в коровнике на клинико-физиологические показатели животных // Техника и технологии в животноводстве. 2021. № 2 (42). С. 74-77. EDN: XPCKVX

13. Zentner E., Löffler B. Horizontalluft zur minderung von hitzestress im rinderstall. Bautagung Raumberg-Gumpenstein. 2017. P. 57-62.

14. Понизовкин Д.А., Борулько В.Г. Автоматизация систем управления микроклиматом животноводческих помещений // Аграрная наука. 2020. № 3 (3). С. 96-98. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-336-3-96-98>

15. Dette H., Melas V.B., Shpilev P.V. Optimal designs for trigonometric regression models. *Journal of Statistical Planning and Inference*. 2011;141(3):1343-1353. <https://doi.org/10.1016/j.jspi.2010.10.010>

### Информация об авторах

<sup>1</sup> **Иванов Юрий Григорьевич**, профессор, д-р техн. наук, профессор; [iy.electro@rgau-msha.ru](mailto:iy.electro@rgau-msha.ru); <https://orcid.org/0000-0002-4766-9532>; SPIN-код: 2490-7588, AuthorID: 744496

<sup>2</sup> **Понизовкин Дмитрий Андреевич**, канд. техн. наук; [ponizovkind@yandex.ru](mailto:ponizovkind@yandex.ru); SPIN-код: 3417-4508, AuthorID: 794911

<sup>3</sup> **Андреев Сергей Андреевич**, д-р техн. наук, доцент; [energo-andreev@rgau-msha.ru](mailto:energo-andreev@rgau-msha.ru); SPIN-код: 8453-6024, AuthorID: 701225

<sup>1,3</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

<sup>2</sup> Московский государственный колледж электромеханики и информационных технологий; 115446, г. Москва, ул. Академика Миллионщикова, 20

### Вклад авторов

Ю.Г. Иванов – формулирование концепции экспериментальных исследований, разработка методики исследований и осуществление руководства научным проектом;

Д.А. Понизовкин – обзор литературы, проведение исследований, визуализация, статистическая обработка результатов экспериментов;

С.А. Андреев – математическое моделирование исследуемых зависимостей, создание черновика рукописи и его редактирование

### Конфликт интересов

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

**Статья поступила 09.01.2025, после рецензирования и доработки 19.04.2025; принята к публикации 21.04.2025**

12. Borulko V.G., Ivanov Yu.G., Ponizovkin D.A., Shlychkova N.A. Mathematical model of cowshed microclimate parameters influence on animals clinical-and-physiological parameters. *Machinery and Technologies in Livestock*. 2021;2(42):74-77. (In Russ.)

13. Zentner E., Löffler B. Horizontalluft zur minderung von hitzestress im rinderstall. Bautagung Raumberg-Gumpenstein. 2017. P. 57-62.

14. Borulko V.G., Ponizovkin D.A. Automation of climate control systems in livestock buildings. *Agrarian science*. 2020;3(3):96-98. (In Russ.) <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-336-3-96-98>

15. Dette H., Melas V.B., Shpilev P.V. Optimal designs for trigonometric regression models. *Journal of Statistical Planning and Inference*. 2011;141(3):1343-1353. <https://doi.org/10.1016/j.jspi.2010.10.010>

### Author Information

**Yuri G. Ivanov**<sup>1</sup>, DSc (Eng), Professor, Professor of the Department of Agricultural Mechanization; [iy.electro@rgau-msha.ru](mailto:iy.electro@rgau-msha.ru); <https://orcid.org/0000-0002-4766-9532>

**Dmitriy A. Ponizovkin**<sup>2</sup>, CSc (Eng); [ponizovkind@yandex.ru](mailto:ponizovkind@yandex.ru)

**Sergey A. Andreev**<sup>3</sup>, DSc (Eng), Associate Professor; [energo-andreev@rgau-msha.ru](mailto:energo-andreev@rgau-msha.ru)

<sup>1,3</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49

<sup>2</sup> Moscow State College of Electromechanics and Information Technologies; 115446, Russian Federation, Moscow, Akademika Millionshchikova Str., 20

### Author Contribution

Yu.G. Ivanov – conceptualization, research methodology, research supervision;

D.A. Ponizovkin – literature review, investigation, visualization, data curation;

S.A. Andreev – formal analysis, writing – original draft, manuscript review and editing.

### Conflict of interests

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

**Received 09.01.2025; Revised 19.04.2025; Accepted 21.04.2025**