

УДК 631.22.01

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-390-01-114-120

И.М. Довлатов

И.В. Комков ✉

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Россия

✉ ilyakomkov10@yandex.ru

Поступила в редакцию: 25.07.2024

Одобрена после рецензирования: 08.11.2024

Принята к публикации: 22.11.2024

© Довлатов И.М., Комков И.В.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-390-01-114-120

Igor M. Dovlatov

Ilya V. Komkov ✉

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia

✉ ilyakomkov10@yandex.ru

Received by the editorial office: 25.07.2024

Accepted in revised: 08.11.2024

Accepted for publication: 22.11.2024

© Dovlatov I.M., Komkov I.V.,

Математическое имитационное моделирование автоматизированной системы для снижения теплового стресса и сходимости с теоретическими значениями

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Известно, что продуктивные качества животных зависят от генетической составляющей и условий содержания животных. Ввиду того что микроклимат помещения следует воспринимать как сложную динамическую систему, необходимо определить ряд факторов, которые оказывают наибольшее влияние на ее взаимосвязь с живыми организмами. Для создания благоприятных условий в помещениях для содержания крупного рогатого скота необходимо соблюдать регламентированные значения из нормативных документов. Наибольшей проблемой на сегодняшний момент в регулировании микроклимата является пагубное влияние теплового стресса. Как правило, он возникает в результате неконтролируемого повышения температуры в помещении для содержания скота. На сегодняшний день с тепловым стрессом борются несколькими способами: использованием специализированного оборудования, фармакологическим, предупреждением пагубного влияния, генетическим. При этом способы для снижения влияния теплового стресса до сих пор являются недостаточными, ввиду чего в настоящее время проводятся исследования по созданию новых систем.

Цель исследования — проведение имитационного моделирования для проверки значений, полученных в результате теоретических исследований. Использовались программы автоматизированного проектирования и обработки данных, такие как «Компас-3D» и Microsoft Office.

Результаты. Результаты исследования позволяют установить, что скорость выходящего потока воздуха в момент выхода из воздуховода составляет 1,615 м/с, а скорость воздушного потока при приближении к крупному рогатому скоту снижается до 0,450 м/с. Данные значения ниже теоретического на 15% и 10% соответственно. Связь результатов имитационного моделирования и теоретических значений является прямой и имеет сильную тесноту связи, сходимость равна 0,86.

Ключевые слова: имитационное моделирование, микроклимат, содержание, автоматизация производства, скоростной поток

Для цитирования: Довлатов И.М., Комков И.В. Математическое имитационное моделирование автоматизированной системы для снижения теплового стресса и сходимости с теоретическими значениями. *Аграрная наука*. 2025; 390(01): 114–120.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-390-01-114-120>

Mathematical simulation modeling of an automated system to reduce heat stress and convergence to theoretical values

ABSTRACT

Relevance. It is known that the productive qualities of animals depend on the genetic component and animal housing conditions. Due to the fact that the microclimate of the room should be perceived as a complex dynamic system, it is necessary to determine a number of factors that have the greatest influence on its relationship with living organisms. In order to create favorable conditions in the premises for keeping cattle, it is necessary to comply with the regulated values from normative documents. The biggest problem at the moment in microclimate regulation is the detrimental effect of heat stress. As a rule, it is caused by uncontrolled temperature increase in the cattle housing. To date, heat stress is combated in several ways: the use of specialized equipment, pharmacological, prevention of harmful effects, genetic. At the same time used methods to reduce the impact of heat stress is still insufficient, in view of which nowadays research is conducted to create new systems.

The purpose of the study was to conduct simulation modeling to verify the values obtained from theoretical studies. Computer-aided design and data processing programs such as Compass-3D and Microsoft Office were used.

Results. The results of the study allow us to establish that the velocity of the outgoing air flow at the moment of exit from the duct is 1.615 m/s, and the velocity of the air flow when approaching the cattle decreases and reaches 0.450 m/s. These values are lower than the theoretical one by 15% and 10% respectively. The relationship between the results of simulation modeling and theoretical values is direct and has a strong closeness of relationship, convergence is equal to 0.86.

Key words: simulation modeling, microclimate, content, production automation, velocity flow

For citation: Dovlatov I.M., Komkov I.V. Mathematical simulation modeling of an automated system to reduce heat stress and convergence to theoretical values. *Agrarian science*. 2025; 390(01): 114–120 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-390-01-114-120>

Введение/Introduction

Известно, что продуктивные качества животных зависят от генетической составляющей и условий содержания животных. В действительности условиям содержания уделяется недостаточный уровень внимания, что провоцирует неспособность животных в полной мере раскрыть свои продуктивные возможности. В условия содержания входят кормление, поение, навозоудаление, поддержание благоприятного уровня микроклимата [1–3].

Ввиду того что микроклимат помещения следует воспринимать как сложную динамическую систему, необходимо определить ряд факторов, которые оказывают наибольшее влияние на ее взаимосвязь с живыми организмами. Можно выделить температуру, уровень относительной влажности, концентрацию вредных газов, скорость воздушных потоков и освещенность. Их регулирование позволяет вносить изменения в данную систему [4].

Для создания благоприятных условий в помещениях для содержания крупного рогатого скота необходимо соблюдать регламентированные значения из нормативных документов. Это позволит в полной степени реализовать генетический потенциал животных¹.

Например, при несоблюдении нормативных значений ПДК наблюдаются снижение продуктивности крупного рогатого скота на 10–15%, перерасход кормов до 20% и, как следствие, снижение эффективности фермерского хозяйства [5, 6].

Наибольшей проблемой на сегодняшний момент в регулировании микроклимата является пагубное влияние теплового стресса. Как правило, он возникает в результате неконтролируемого повышения температуры в помещении для содержания скота. Впоследствии это может приводить к ухудшению продуктивных качеств скота вплоть до 35% [7–9].

Известно, что для ликвидации влияния теплового стресса организм животного включает компенсаторные механизмы, начинается секреция ряда гормонов, что приводит к нарушению гомеостаза эндокринной системы. В дальнейшем это приводит к ухудшению общего состоянию организма [10, 11].

Это может приводить к изменению процессов брожения в рубце, долговременное воздействие способно привести к снижению удоев на 35–40% и в дальнейшем к увеличению смертности крупного рогатого скота [12, 13].

На сегодняшний день с тепловым стрессом борются несколькими способами: использованием специализированного оборудования, фармакологическим, предупреждением пагубного влияния, генетическим.

Для снижения влияния теплового стресса на некоторых предприятиях используются фармакологические средства, которые не позволяют

регуляторным механизмам организма снижать молочную продуктивность крупного рогатого скота. В иных случаях фермеры используют энергетические добавки, которые позволяют повысить молочную продуктивность, увеличить содержание массовой доли жира и белка и снизить потери живой массы в период раздоя [14, 15].

Такие способы снижения влияния теплового стресса потенциально могут пагубно влиять на организм животного. Параллельно с этим используется иной способ — генетический, а точнее, селекционные мероприятия для выведения породы скота, которая не страдает от повышения значений теплового стресса. Известно, что выведение помесных животных способствует выведению пород, устойчивых к избыточному теплу и с высокой молочной продуктивностью [16, 17].

Но наиболее дешевыми и относительно нейтральными для организма животных способами являются профилактические мероприятия и использование специализированного оборудования. Профилактические мероприятия заключаются в обеспечении животных большим количеством воды, использовании навесов и регулировании температуры. В качестве специализированного оборудования используются вентиляционные рукава, патрубки с мелкодисперсным распылением жидкости и вентиляторы для обеспечения точечного обдува, увлажнения кожного покрова и смены воздушных масс соответственно. Таким образом достигается теплообмен между организмом животного и окружающей средой [18–21].

При этом используемые способы для снижения влияния теплового стресса до сих пор являются недостаточными, ввиду чего в настоящее время проводятся исследования по созданию новых систем.

Цель исследования — провести имитационное моделирование для проверки значений, полученных в результате теоретических исследований.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

При проведении научной работы на базе лаборатории цифровых систем мониторинга для животноводства в Федеральном научном агроинженерном центре «ВИМ» в 2023–2024 гг. была использована программа автоматизированного проектирования «Компас-3D» (САПР) от компании ООО «АСКОН-Системы проектирования». Для обработки полученных данных был использован пакет программ Microsoft Office, в частности Microsoft Excel, от компании Microsoft (США).

В предыдущих исследованиях была разработана и представлена методика расчета скорости выходящего воздушного потока и давления в воздуховоде автоматизированной системы для

¹ Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 21.10.2020 № 622 «Об утверждении Ветеринарных правил содержания крупного рогатого скота в целях его воспроизводства, выращивания и реализации».

снижения теплового стресса крупного рогатого скота. Скорость воздушного потока на разной высоте определялась формулой:

$$Un + 1 = \frac{0,96}{\frac{\alpha 0 \times x}{r0} + 0,29}$$

где: $Un + 1$ — скорость воздушного потока на рассматриваемом сечении; Un — скорость воздушного потока в момент выхода; x — расстояние от выходного отверстия насадка до рассматриваемого сечения струи; $r0$ — радиус отверстия; $\alpha 0$ — коэффициент структуры турбулентной струи, для круглой струи принимается $\alpha 0 = 0,07/0,08$ [22].

Для подтверждения корректного функционирования системы необходимо провести лабораторные испытания (имитационное моделирование). В качестве испытаний было выбрано имитационное моделирование в программном комплексе SolidWorks 2020 от разработчика Dassault Systèmes компании SolidWorks (США). Выбранные уровни проведения имитационного обусловлены программным комплексом SolidWorks, так как необходимо определить скорость воздушного потока возле животных в момент выхода и на расстоянии, равном половине длины (с погрешностью 15%) от пола до спины животного и от спины животного до выходного отверстия воздуховода.

В программу необходимо вносить конструкционные данные системы и ее технические характеристики: материал, использованный для системы, — гибкий поливинилхлорид² с толщиной 1 мм; диапазон температур от -30°C до $+70^{\circ}\text{C}$; содержание пластификатора — 33% DINP по массе; жесткость при изгибе — 12 МПа; предел прочности при растяжении — 21 МПа. Является слаботоксичным веществом³, ввиду этого допускается для использования в местах для содержания животных. Устойчив к действию кислот, щелочей, растворов солей, жиров и спиртов. Необходимо введение внешних факторов: температура — 20°C ; ускорение свободного падения принято как $9,8 \text{ м/с}^2$; плотность воздуха — $1,204 \text{ кг/м}^3$; плотность воды — 1000 кг/м^3 ; динамическая вязкость воздуха — $18,5 \text{ мкПа}\cdot\text{с}$. Атмосферное давление стандартное — $750,063783 \text{ мм рт. ст.}$. Жидкость при распылении должна быть мелкодисперсной (не более 150 мкм , желательно приближена к 70 мкм).

Воздуховод. Длина 11 м , диаметр 1 м , выходные отверстия расположены на расстоянии $1,1 \text{ м}$ друг от друга по центральной оси воздуховода по направлению движения воздушного потока с

диаметром $0,05 \text{ м}$. Давление, создаваемое приточным вентилятором, — $34,15 \text{ Па}$. Расход вентилятора $21\,279 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Гидролиния. Длина гидролинии $14,7 \text{ м}$, вертикальный участок $3,7 \text{ м}$, горизонтальный 11 м , между данными участками имеется сгиб 90° . Диаметр гидролинии $0,012 \text{ м}$. На горизонтальном участке располагаются форсунки на расстоянии $1,1 \text{ м}$ друг от друга, возле выходных отверстий воздуховода диаметр форсунки $0,00051 \text{ м}$. Давление, создаваемое насосом, — $1,84 \text{ МПа}$, расход $2,5 \text{ л/мин}$, напор $187,4 \text{ м}$.

Из предыдущих исследований установлено, что оборудование над животными должно располагаться на высоте от $2,4 \text{ м}$ [22]. Уровень шума, который генерируется оборудованием, должен быть меньше $65\text{--}70 \text{ дБ}$. Материалы, из которых выполнено оборудование, должны быть устойчивы к агрессивной среде, безопасны для животных и человека. Ограничения по содержанию в воздухе мелкодисперсных частиц и твердых примесей не более 100 мг/м^3 . Рабочая температура от -40°C до $+40^{\circ}\text{C}$. Часть системы (гидролиния) должна быть герметична. Система должна быть способна регулировать уровень относительной влажности от 40 до 75% для основных помещений с лактирующим стадом и скорость ветра от $0,5$ до 1 м/с для них же. В качестве животного выбрана корова черно-пестрой голштинизированной породы ростом $1,3 \text{ м}$.

План проведения математического имитационного моделирования:

1. Создание имитационной модели воздуховода.
2. Внесение данных системы для снижения теплового стресса в программный комплекс SolidWorks 2020.
3. Внесение данных: температура $t (^{\circ}\text{C})$; уровень относительной влажности $W (\%)$; плотность воздуха $\rho (\text{кг/м}^3)$; ускорение свободного падения $g (\text{м/с}^2)$; динамическая вязкость воздуха $\eta (\text{Па}\cdot\text{с})$; атмосферное давление (мм рт. ст.) и т. д.
4. Запуск имитационного моделирования в программном комплексе.
5. Сбор данных по проведенному имитационному моделированию, определение скорости в воздуховоде.
6. Статистический анализ полученных данных и сравнение их с теоретическими значениями.
7. Формирование общих выводов касательно системы.

Для определения корреляционной зависимости теоретически полученных данных и результатов имитационного моделирования была выбрана методика расчета коэффициента корреляции

² Центр труб пласт. — URL: <https://www.ctpl.ru/articles/harakteristiki-polivinilhlorida-i-trub-iz-pvh/> (дата обращения: 22.03.2024).

³ Поливинилхлорид (ПВХ): основные свойства, область применения. — URL: <https://plastinfo.ru/information/articles/38/> (дата обращения: 22.03.2024); Химические свойства и применение поливинилхлорида. Виды ПВХ. Полимерный материал на основе ПВХ. — URL: <https://wireelectric.ru/electrical-safety/himicheskie-svoistva-i-primenenie-polivinilhlorida-vidy-pvh-polimernyi/> (дата обращения: 22.03.2024).

Пирсона [23]. Для проведения расчета использована формула:

$$r_{xy} = \frac{\sum(x - \bar{x}) \times (y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 \times \sum(y - \bar{y})^2}}$$

где: x — значения, принимаемые переменной X ; $\bar{x}$ — среднее арифметическое значений X ; y — значения, принимаемые переменной Y ; $\bar{y}$ — среднее арифметическое значений y .

Определение средней арифметической осуществлялось с помощью формул:

$$\bar{x} = \frac{\sum(x)}{n}, \quad (3)$$

$$\bar{y} = \frac{\sum(y)}{n}, \quad (4)$$

Определение существенности коэффициента корреляции проводилось с помощью t-критерия Стьюдента:

$$tp = \frac{r \times \sqrt{(n-2)}}{\sqrt{(1-r^2)}}, \quad (5)$$

где: tp — t-критерий Стьюдента расчетный; r — коэффициент корреляции; n — выборка, количество взятых чисел.

Определение числа степеней свободы проводилось с использованием формулы:

$$df = n - 2. \quad (6)$$

На основе данных шкалы Чеддока (табл. 1) возможно определить тесноту связи⁴.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

На рисунке 1 представлено изображение выхода воздушного потока из системы.

По результатам проведенного ранее исследования были определены значения скорости выхода воздушного потока из выходных отверстий воздуховода (она равняется 1,9 м/с и соответствуют регламентированным значениям нормативных документов⁵). Данные скорости воздушного потока на разных высотах представлены ниже (табл. 2).

На рисунках 2, 3 приведены результаты имитационного моделирования. Было определено, что

Таблица 1. Шкала Чеддока, теснота связи [24]

Table 1. Cheddock scale, closeness of relationship [24]

Величина коэффициента корреляции при наличии		Характер связи
прямой связи	обратной связи	
0,1–0,3	-0,3–0,1	Практически отсутствует
0,3–0,5	-0,5–0,3	Слабая
0,5–0,7	-0,7–0,5	Умеренная
0,7–0,9	-0,9–0,7	Сильная
0,9–0,99	-0,99–0,9	Весьма сильная

⁴ Оценка тесноты связи. — URL: <https://studfile.net/preview/2997374/page:10/> (дата обращения: 20.03.2024).

⁵ Система рекомендательных документов агропромышленного комплекса Министерства сельского хозяйства Российской Федерации. Методические рекомендации по технологическому проектированию ферм и комплексов крупного рогатого скота РД-АПК 1.10.01.01-18.

Рис. 1. Схематичное изображение выхода свободной струйки воздушного потока из системы для снижения теплового стресса крупного рогатого скота: U_1 — скорость потока воздуха в момент выхода из воздуховода, м/с; U_2 — скорость потока воздуха возле животного, м/с; U_3 — скорость потока воздуха в помещении по направлению к животному, м/с; r_0 — радиус отверстия, м; X — расстояние от выходного отверстия до рассматриваемого сечения струи, м; X_n — расстояние от выходного отверстия до начального участка струи, м; h — расстояние от животного до воздуховода, м

Fig. 1. Schematic representation of free airflow jet exit from the system to reduce heat stress in cattle: U_1 — air flow velocity at the moment of exit from the duct, m/s; U_2 — air flow velocity near the animal, m/s; U_3 — air flow velocity in the room towards the animal, m/s; r_0 — radius of the hole, m; X — distance from the exit hole to the considered section of the jet, m; X_n — distance from the exit hole to the initial section of the jet, m; h — distance from the animal to the duct, m

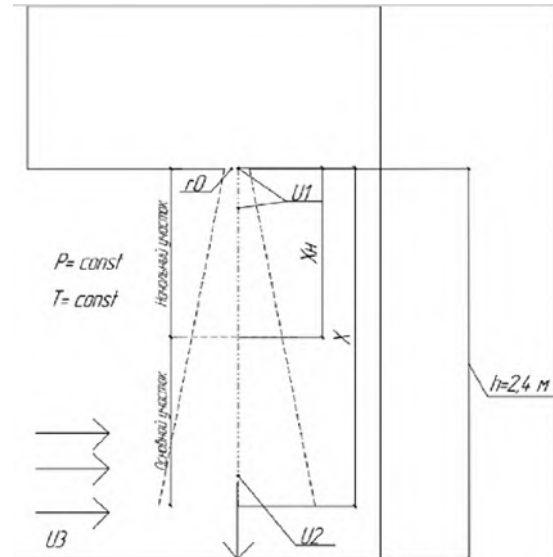


Таблица 2. Скорость воздушного потока на разных высотах

Table 2. Air velocity at different altitudes

Участок	1	2	3	4
Высота до пола, м	3,7	2,983	1,3	0,65
Скорость, м/с	1,9	1,41	0,5	0,4

Рис. 2. Выход и распределение воздушных потоков из автоматизированной системы для снижения теплового стресса (вид с торца)

Fig. 2. Exit and distribution of air flows from the automated system for heat stress reduction (end view)

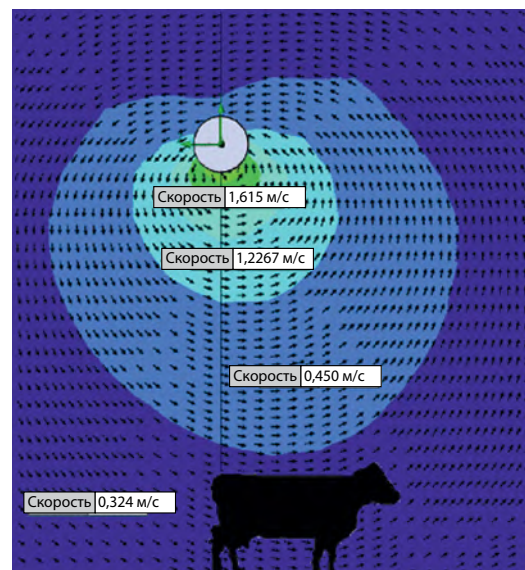


Рис. 3. Выход воздушного потока из автоматизированной системы для снижения теплового стресса (вид сбоку)

Fig. 3. Airflow output from automated system for heat stress reduction (side view)

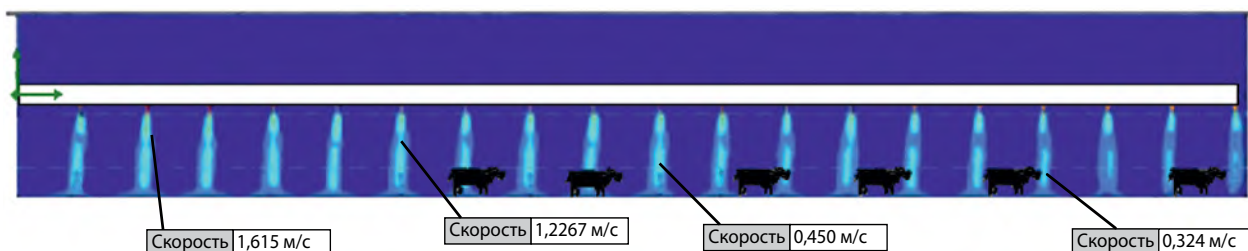


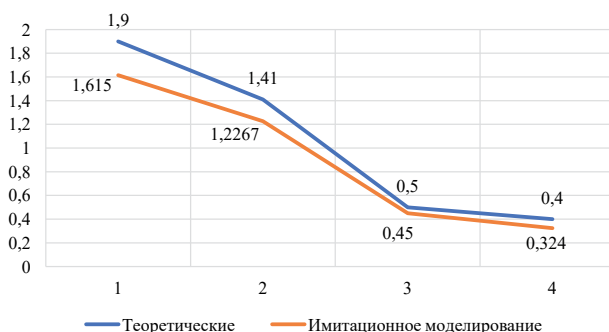
Таблица 3. Данные, полученные теоретическим способом и в результате имитационного моделирования

Table 3. Data obtained theoretically and by simulation modeling

№	Теоретические	Имитационное моделирование	Коэффициент корреляции
1	1,90	1,6150	0,85
2	1,41	1,2267	0,87
3	0,50	0,4500	0,90
4	0,40	0,3240	0,81

Рис. 4. Сходимость данных скорости выходного потока воздуха по направлению к животному, м/с

Fig. 4. Convergence of air outlet velocity data towards the animal, m/s



распределение воздушных масс осуществляется по направлению к животным в форме окружности, за счет этого достигается большая площадь обдува животных, что оказывает благоприятное воздействие.

По результатам моделирования (рис. 2) можно определить, что скорость выходящего потока воздуха достигает значения 0,324 м/с примерно на половине высоты животного. В непосредственной близости к животному скорость выходящего потока составила 0,45 м/с.

Исходя из данных, представленных на рисунке 3, можно определить, что скорость в момент выхода из выходного отверстия составляет 1,615 м/с, а по мере приближения к телу животного снижается до 0,450 м/с. На основе данных,

полученных в предыдущих исследованиях и в результате имитационного моделирования, были сформированы таблица 3 и рисунок 4.

Общий коэффициент корреляции данных определяется как среднее арифметическое коэффициентов корреляции в четырех точках, он составляет $0,8575 \approx 0,86$ при $p \leq 0,01$. Число степеней свободы на основе формулы (6) равно 8. При том условии, что $t_p = 4,7658$ (t-критерий Стьюдента табличный при $p \leq 0,01$ соответствует 3,36), коэффициент корреляции можно считать значимым, а связь существенной⁶. Из всего вышеописанного можно утверждать, что связь является прямой и сильной между теоретическими значениями и данными результата имитационного моделирования.

Выводы/Conclusions

При проведении лабораторных испытаний (имитационного моделирования) установлено, что скорость выходящего потока воздуха в момент выхода из воздуховода составляет 1,615 м/с. Данное значение ниже теоретического на 15%. Это может свидетельствовать о достоверности теоретических расчетов.

Выявлено, что скорость воздушного потока при приближении к крупному рогатому скоту снижается и достигает 0,45 м/с. Данные значения скорости превышают минимальные регламентированные значения на 10%, при этом остаются в допустимом диапазоне, а превышение ниже 15% можно считать незначительным в рамках помещения для содержания крупного рогатого скота.

Связь результатов имитационного моделирования и теоретических значений является прямой и сильной, сходимость равна 0,86.

При проведении дальнейших исследований рекомендуется провести натурные испытания в хозяйстве, (в реальных условиях) для сравнения с данными, полученными в результате теоретического исследования и имитационного моделирования.

⁶ Кричевец А.Н., Корнеев А.А., Рассказова Е.И. Основы статистики для психологов. М.: Акрополь. 2019; 286. ISBN 978-5-98807-086-3

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Leliveld L.M.C., Riva E., Mattachini G., Finzi A., Lovarelli D., Provolo G. Dairy Cow Behavior Is Affected by Period, Time of Day and Housing. *Animals*. 2022; 12(4): 512. <https://doi.org/10.3390/ani12040512>
- Довлатов И.М., Юферев Л.Ю. Расчет расстояния от источника УФ-облучения, обеспечивающего необходимую дозу эффективного облучения. *Инновации в сельском хозяйстве*. 2018; (3): 618–625. <https://www.elibrary.ru/yvcxrb>
- 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>
- Кирсанов В.В., Довлатов И.М., Юрочка С.С., Комков И.В. Разработка параметрической модели определения газового состава воздушной среды (аммиак, сероводород, углекислый газ) животноводческого помещения. *Агроинженерия*. 2023; 25(3): 13–22. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-3-13-22>
- Зюкин Д.А., Петрушина О.В., Лисицына Ю.В., Руденко С.Р. Роль сельского хозяйства в продовольственном обеспечении: основные результаты и направления развития. *Вестник НГИЭИ*. 2024; (2): 82–92. <https://www.elibrary.ru/scvdoc>
- Растимешин С.А., Трунов С.С., Каткова Ю.Б. Обеспечение микроклимата в животноводческих помещениях. *Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке. Сборник трудов V Международной научно-технической конференции*. СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий. 2011; 160–161. <https://www.elibrary.ru/tichdj>
- 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): 17–23. <https://www.elibrary.ru/gwbzj>
- Абилова Г.У., Хон Ф.К., Лычагин Е.А. Влияние экстремально жаркой погоды на воспроизводительные способности высокопродуктивных коров. *Достижения и перспективы научно-инновационного развития АПК. Сборник статей по материалам III Всероссийской (национальной) научно-практической конференции*. Курган: Курганская государственная сельскохозяйственная академия. 2022; 445–449. <https://www.elibrary.ru/kwqqyh>
- Малинин И., Садовникова Н. Влияние теплового стресса на продуктивность молочного и мясного скота. *Эффективное животноводство*. 2016; (5): 34–37. <https://www.elibrary.ru/wcnvkb>
- Dovolou E., Giannoulis T., Nanas I., Amiridis G.S. Heat Stress: A Serious Disruptor of the Reproductive Physiology of Dairy Cows. *Animals*. 2023; 13(11): 1846. <https://doi.org/10.3390/ani13111846>
- Collier R.J., Baumgard L.H., Zimbelman R.B., Xiao Y. Heat stress: physiology of acclimation and adaptation. *Animal Frontiers*. 2019; 9(1): 12–19. <https://doi.org/10.1093/af/vfy031>
- Буряков Н.П., Бурякова М.А., Алешин Д.А. Тепловой стресс и особенности кормления молочного скота. *Российский ветеринарный журнал. Сельскохозяйственные животные*. 2016; (3): 5–13. <https://www.elibrary.ru/witnhf>
- Jiang M. et al. Effect of Slow-Release Urea Partial Replacement of Soybean Meal on Lactation Performance, Heat Shock Signal Molecules, and Rumen Fermentation in Heat-Stressed Mid-Lactation Dairy Cows. *Animals*. 2023; 13(17): 2771. <https://doi.org/10.3390/ani13172771>
- Рудь Е.Н., Кузьмина Е.В., Семенов М.П., Абрамов А.А., Наталенко В.А. Фармакокоррекция теплового стресса у крупного рогатого скота. *Ветеринария Кубани*. 2022; (5): 16–18. <https://www.elibrary.ru/dnkhdp>
- Korotkiy V.P., Yurina N.A., Yurin D.A., Buryakov N.P., Ryzhov V.A., Marisov S.S. Опыт применения фитобиотической кормовой добавки в летних условиях юга России. *Эффективное животноводство*. 2020; (4): 121–123. <https://www.elibrary.ru/kndkcq>
- Kalemkeridou M. et al. Genetic diversity and thermotolerance in Holstein cows: Pathway analysis and marker development using whole-genome sequencing. *Reproduction in Domestic Animals*. 2023; 58(1): 146–157. <https://doi.org/10.1111/rda.14274>

REFERENCES

- Leliveld L.M.C., Riva E., Mattachini G., Finzi A., Lovarelli D., Provolo G. Dairy Cow Behavior Is Affected by Period, Time of Day and Housing. *Animals*. 2022; 12(4): 512. <https://doi.org/10.3390/ani12040512>
- Dovlatov I.M., Yuferev L.Yu. The calculation of the distance from the source of UV radiation provides the necessary effective dose of radiation. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2018; (3): 618–625 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/yvcxrb>
- 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>
- Kirsanov V.V., Dovlatov I.M., Yurochka S.S., Komkov I.V. Development of a parametric model for determining the gas composition of the air environment (ammonia, hydrogen sulfide, carbon dioxide) of livestock premises. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2023; 25(3): 13–22 (in Russian). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-3-13-22>
- Zyukin D.A., Petrushina O.V., Lisitsyna Yu.V., Rudenko S.R. The role of agriculture in food security: main results and directions of development. *Bulletin NGIEI*. 2024; (2): 82–92 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/scvdoc>
- Rastimeshin S.A., Trunov S.S., Katkova Yu.B. Provision of microclimate in livestock buildings. *Low-temperature and food technologies in the XXI century. Proceedings of the V International Scientific and Technical Conference*. St. Petersburg: St. Petersburg State University of Refrigeration and Food Engineering. 2011; 160–161 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/tichdj>
- Kolotushkin A.N., Yurochka S.S., Vasina M.Yu., Dovlatov I.M. Device for automatic air quality control in livestock premises. *Agrotekhnika i energoobespecheniye*. 2021; (3): 17–23 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/gwbzj>
- Abileva G.U., Khon F.K., Lychagin E.A. Influence of extremely hot weather on the reproductive abilities of highly productive cows. *Achievements and prospects of scientific and innovative development of agroindustrial complex. Collection of articles based on the materials of the III All-Russian (national) scientific and practical conference*. Kurgan: Kurgan State Agricultural Academy. 2022; 445–449 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/kwqqyh>
- Malinin I., Sadovnikova N. Influence of heat stress on the productivity of dairy and beef cattle. *Effektivnoye zhivotnovodstvo*. 2016; (5): 34–37 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/wcnvkb>
- Dovolou E., Giannoulis T., Nanas I., Amiridis G.S. Heat Stress: A Serious Disruptor of the Reproductive Physiology of Dairy Cows. *Animals*. 2023; 13(11): 1846. <https://doi.org/10.3390/ani13111846>
- Collier R.J., Baumgard L.H., Zimbelman R.B., Xiao Y. Heat stress: physiology of acclimation and adaptation. *Animal Frontiers*. 2019; 9(1): 12–19. <https://doi.org/10.1093/af/vfy031>
- Buryakov N.P., Buryakova M.A., Aleshin D.A. Heat stress and feeding features of the dairy cattle. *Russian veterinary journal. Productive animals*. 2016; (3): 5–13 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/witnhf>
- Jiang M. et al. Effect of Slow-Release Urea Partial Replacement of Soybean Meal on Lactation Performance, Heat Shock Signal Molecules, and Rumen Fermentation in Heat-Stressed Mid-Lactation Dairy Cows. *Animals*. 2023; 13(17): 2771. <https://doi.org/10.3390/ani13172771>
- Rud E.N., Kuzminova E.V., Semenenko M.P., Abramov A.A., Natalenko V.A. Pharmacotherapy of heat stress in large horned cattle. *Veterinaria Kubani*. 2022; (5): 16–18 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/dnkhdp>
- Korotkiy V.P., Yurina N.A., Yurin D.A., Buryakov N.P., Ryzhov V.A., Marisov S.S. Experience in the use of phytobiotic feed additive in the summer conditions of southern Russia. *Effektivnoye zhivotnovodstvo*. 2020; (4): 121–123 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/kndkcq>
- Kalemkeridou M. et al. Genetic diversity and thermotolerance in Holstein cows: Pathway analysis and marker development using whole-genome sequencing. *Reproduction in Domestic Animals*. 2023; 58(1): 146–157. <https://doi.org/10.1111/rda.14274>

17. Mullakkalparambil Velayudhan S. *et al.* Effects of Heat Stress across the Rural-Urban Interface on Phenotypic Trait Expressions of Dairy Cattle in a Tropical Savanna Region. *Sustainability*. 2022; 14(8): 4590. <https://doi.org/10.3390/su14084590>

18. Пирон О., Малинин И. Как пережить тепловой стресс и не потерять молоко. *Животноводство России*. 2015; (6): 48–50. <https://elibrary.ru/uiqygf>

19. Dovlatov I.M., Yurochka S.S., Pavkin D.Y., Polikanova A.A. Technology of Forced Ventilation of Livestock Premises Based on Flexible PVC Ducts. Vasant P. *et al.* (eds.). *Intelligent Computing and Optimization. Proceedings of the 6th International Conference on Intelligent Computing and Optimization 2023 (ICO2023)*. Cham: Springer. 2023; 2: 353–360. https://doi.org/10.1007/978-3-031-50330-6_34

20. Морозов Н.М., Кирсанов В.В., Ценч Ю.С. Историко-аналитическая оценка развития процессов автоматизации и роботизации в молочном животноводстве. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023; 17(1): 11–18. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2023-17-1-11-18>

21. Mohsenimanesh A. *et al.* 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>

22. Довлатов И.М., Комков И.В., Владимиров Ф.Е., Базаев С.О. Определение скорости выходящего воздушного потока и давления в воздуховоде автоматизированной системы для снижения теплового стресса КРС. *Техника и технологии в животноводстве*. 2024; 14(2): 30–35. <https://doi.org/10.22314/27132064-2024-2-30>

23. Саадалов Т., Мырзабраимов Р., Абдуллаева Ж.Д. Методика расчета коэффициента корреляции Фехнера и Пирсона, и их области применения. *Бюллетень науки и практики*. 2021; 7(10): 270–276. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/71/31>

24. Dorokhov A.S., Ivanov Y.A., Kirsanov V.V., Pavkin D.Y., Vladimirov F.E. Diagnosing sub-acute rumen acidosis in cows in the post-calving period with digital technologies. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. 2021; 73(2): 271–276. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-12170>

ОБ АВТОРАХ

Игорь Мамедьярович Довлатов

кандидат технических наук, старший научный сотрудник
dovlatovim@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3058-2446>

Илья Владимирович Комков

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

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
1-й Институтский проезд, 5, Москва, 109428, Россия

17. Mullakkalparambil Velayudhan S. *et al.* Effects of Heat Stress across the Rural-Urban Interface on Phenotypic Trait Expressions of Dairy Cattle in a Tropical Savanna Region. *Sustainability*. 2022; 14(8): 4590. <https://doi.org/10.3390/su14084590>

18. Piron O., Malinin I. How to live through thermal stress and not to lose milk. *Animal Husbandry of Russia*. 2015; (6): 48–50 (in Russian). <https://elibrary.ru/uiqygf>

19. Dovlatov I.M., Yurochka S.S., Pavkin D.Y., Polikanova A.A. Technology of Forced Ventilation of Livestock Premises Based on Flexible PVC Ducts. Vasant P. *et al.* (eds.). *Intelligent Computing and Optimization. Proceedings of the 6th International Conference on Intelligent Computing and Optimization 2023 (ICO2023)*. Cham: Springer. 2023; 2: 353–360. https://doi.org/10.1007/978-3-031-50330-6_34

20. Morozov N.M., Kirsanov V.V., Tsench Yu.S. Historical and Analytical Assessment of Automation and Robotization for Milking Processes. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2023; 17(1): 11–18 (in Russian). <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2023-17-1-11-18>

21. Mohsenimanesh A. *et al.* 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>

22. Dovlatov I.M., Komkov I.V., Vladimirov F.E., Bazaev S.O. Determination of outgoing air flow velocity and pressure in the airpipe of the automated system for cattle's thermal stress reducing. *Machinery and technologies in livestock*. 2024; 14(2): 30–35 (in Russian). <https://doi.org/10.22314/27132064-2024-2-30>

23. Saadalov T., Myrzaibraimov R., Abdullaeva Zh.D. Calculating procedure for the correlation coefficient of Fechner and Pearson and their application areas. *Bulletin of Science and Practice*. 2021; 7(10): 270–276 (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/71/31>

24. Dorokhov A.S., Ivanov Y.A., Kirsanov V.V., Pavkin D.Y., Vladimirov F.E. Diagnosing sub-acute rumen acidosis in cows in the post-calving period with digital technologies. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. 2021; 73(2): 271–276. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-12170>

ABOUT THE AUTHORS

Igor Mamedyarevich Dovlatov

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
dovlatovim@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3058-2446>

Ilya Vladimirovich Komkov

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

Federal Scientific Agroengineering Center VIM,
5 1st Institute Passage, Moscow, 109428, Russia