

УДК 631.9 631/635

Научная статья



DOI: 10.32634/0869-8155-2024-387-10-171-176

И.М. Довлатов
И.В. Комков ✉
С.О. Базаев
Ф.Е. Владимиров
А.Р. Хакимов

Федеральный научный агроинженерный
центр ВИМ, Москва, Россия

✉ ilyakomkov10@yandex.ru

Поступила в редакцию: 25.06.2024
Одобрена после рецензирования: 12.09.2024
Принята к публикации: 26.09.2024

© Довлатов И.М., Комков И.В., Базаев С.О.,
Владимиров Ф.Е., Хакимов А.Р.

Research article



DOI: 10.32634/0869-8155-2024-387-10-171-176

Igor M. Dvlatov
Ilya V. Komkov ✉
Savr O. Bazaev
Fedor E. Vladimirov
Artyom R. Khakimov

Federal Scientific Agroengineering Center
VIM, Moscow, Russia

✉ ilyakomkov10@yandex.ru

Received by the editorial office: 25.06.2024
Accepted in revised: 12.09.2024
Accepted for publication: 26.09.2024

© Dvlatov I.M., Komkov I.V., Bazaev S.O.,
Vladimirov F.E., Khakimov A.R.

Влияние теплового стресса, определение температурно-влажностного индекса

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Повышенные значения температуры и уровня относительной влажности внешней среды приводят к негативным последствиям для организма животных, вынуждая включать процессы терморегуляции. Эти механизмы позволяют организму животных адаптироваться к новым условиям среды в убыток продуктивным показателям. В данных случаях наблюдается тепловой стресс. Установлено, что по прошествии 17 часов, отмечается возможное снижение продуктивности на 35–40%. Для выявления влияния теплового стресса необходимо точное определение температурно-влажностного индекса (ТНІ).

Методы. В материалах и методах приведены наиболее распространенные формулы для определения температурно-влажностного индекса. Представлены оборудование и пакет программ, используемых для проведения исследования.

Результаты. Представлен график результатов южнокорейских исследований для сравнения влияния теплового стресса на продуктивность. В результатах и обсуждениях отображены модернизированная формула определения индекса теплового стресса и рисунки, отображающие уровень теплового стресса при разных значениях температуры и уровня относительной влажности.

Ключевые слова: тепловой стресс, температурно-влажностный индекс (ТНІ), молочный скот, пороговые значения

Для цитирования: Довлатов И.М., Комков И.В., Базаев С.О., Владимиров Ф.Е., Хакимов А.Р. Влияние теплового стресса, определение температурно-влажностного индекса. *Аграрная наука*. 2024; 387(10): 171–176.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-387-10-171-176>

Effect of heat stress, determination of temperature-humidity index

ABSTRACT

Relevance. Increased values of temperature and relative humidity of the external environment lead to negative consequences for the animal body, forcing the thermoregulation processes to be turned on. These mechanisms allow the animal organism to adapt to new environmental conditions at the expense of productivity. In these cases heat stress is observed. It is established that its manifestation is observed after 17 hours and there is a possible decrease in productivity by 35–40%. To identify the effect of heat stress, accurate determination of temperature-humidity index (THI) is necessary.

Methods. The materials and methods contain the most common formulas for determining the temperature and humidity index. The equipment and software package used for the research are presented.

Results. A graph of the results of South Korean studies is presented to compare the effects of heat stress on productivity. The results and discussions display a modernized formula for determining the heat stress index and figures showing the level of heat stress at different temperature and relative humidity levels.

Key words: thermal stress, temperature-humidity index (THI), dairy cattle, threshold values

For citation: Dvlatov I.M., Komkov I.V., Bazaev S.O., Vladimirov F.E., Khakimov A.R. Effect of heat stress, determination of temperature-humidity index. *Agrarian science*. 2024; 387(10): 171–176 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-387-10-171-176>

Введение/Introduction

В данный период наблюдается рост средней температуры планеты, из-за этого отмечено увеличение значения теплового стресса, который оказывает пагубное влияние на жизнь и здоровье [1–4]. Один из способов борьбы с его последствиями — использование фармакологических средств [5–8].

Для точного определения дозировки средства необходимо определить степень влияния температурного стресса. Это достигается за счет определения температурно-влажностного индекса (ТНІ) [9].

При изменении температуры окружающей среды животные осуществляют процесс терморегуляции. Это процесс регулирования температуры организма за счет использования различных эфферентных вегетативных путей (например, изменение диаметра сосудов или изменение положения внешнего покрова животных).

Стресс — событие, которое провоцирует напряженное функционирование организма [10–13]. К таковым относится изменение скорости метаболизма, механизмов терморегуляции и прочих процессов. Под тепловым стрессом подразумевается изменение температуры окружающей среды, провоцирующее мобилизацию внутренних средств организма для борьбы с ним [14].

Наиболее комфортный диапазон температур для крупного рогатого скота — от 0 до +22 °С. При превышении верхней границы диапазона наблюдается нарушение гомеостаза. Это может приводить к различным нарушениям внутри организма и в конечном итоге к снижению продуктивных качеств. Указывается, что на возникновение теплового стресса влияет уровень относительной влажности. Так, при повышении значений влажности наблюдается затруднение теплоотдачи, что увеличивает негативное влияние теплового стресса [15].

Известно, что проявление влияния теплового стресса становится явным спустя 17 часов воздействия. Согласно одному из исследований, наступление теплового стресса определяется при температурно-влажностном индексе (ТНІ), равном 68. Его проявление заключается в увеличении температуры организма животного, учащении частоты сердечных сокращений и одышки, снижении резистентности организма, процента оплодотворяемости и падения уровня продуктивности. В связи с этим становится понятна необходимость снижения влияния теплового стресса на организм животного [16–18].

При высоких показателях температурно-влажностного индекса наблюдается снижение удоев. Например, в исследованиях Jeon и др. наступление теплового стресса определяют со значения индекса 72. При увеличении ТНІ (с 82 до 95) надои падали на 3 кг, или на 9,02%. Значения индекса 72–79 признаны такими, что вызывают умеренный стресс, при 80–89 возникает умеренный стресс со снижением продуктивных показателей [19].

В условиях теплового стресса наблюдается снижение удоев на 35–40%. При этом существует разделение на легкий, умеренный, средний, сильный, высокий и критичный. В зависимости от типа теплового стресса осуществляется разная степень влияния — от снижения метаболизма и усвоения питательных веществ до падения удоев или учащения частоты сердечных сокращений и летального исхода [20, 21].

Помимо снижения продуктивности животных, тепловой стресс влияет и на репродуктивные функции крупного рогатого скота. Установлено, что при высоких значениях температуры наблюдается гипофункция яичников. До 40,6% пригодных к оплодотворению коров и

телок могут обладать гипофункцией яичников в жаркий период [22].

Отмечается, что тепловой стресс оказывает неодинаковое влияние на разные породы крупного рогатого скота. Так, скот породы Сахивал имеет особенное морфологическое строение кожного покрова, которые позволяют осуществлять отток тепла. В связи с этим некоторые породы имеют повышенную толерантность к тепловому стрессу (например, Оригинальный Браун-виех, Голштинская, Херенс и др.). Уровень толерантности определяется предельным значением температурно-влажностного индекса, при котором не наблюдается снижения продуктивности [23].

Отмечается, что при повышении значения ТНІ изменяются поведенческие признаки крупного рогатого скота. Наблюдаются снижение времени питья, количества пережевываний в минуту, потеря аппетита. Это приводит к неудовлетворению в плане энергетических потребностей, что особенно сильно отражается на высокопродуктивных коровах — приводит к снижению удоя [24].

Своевременное определение теплового индекса необходимо для выявления нарушений, связанных с содержанием скота и предполагаемых снижениях количества товарной продукции. Термин «индекс тепла» имеет название «температурно-влажностный индекс (ТНІ)». Использование индекса позволяет осуществлять корректную регулировку микроклиматических показателей внутри помещения. Это позволяет увеличивать срок хозяйственного использования скота и продуктивные показатели [14, 25, 27].

На появление и изменение теплового стресса влияют высокие значения температуры и уровня относительной влажности. В зависимости от значений ТНІ определяются тип теплового стресса и разное влияние. На основе определенных значений становится понятно, какую мощность оборудования стоит использовать для снижения пагубного влияния [28, 29].

С ростом значения индекса наблюдается увеличение пагубного влияния. Так, производство молока при увеличении ТНІ на 4–9 снижается на 6,7–11,8%. Следовательно, необходимо точно проводить определение индекса для последующего изменения значений показателей микроклимата [30].

Цель исследования — уточнить диапазон значений теплового стресса, оказывающий негативное влияние на продуктивность скота при увеличении температурно-влажностного индекса на основе модернизации формулы определения последнего.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Аналитическое исследование выполняли на базе лаборатории цифровых систем мониторинга для животноводства в Федеральном научном аграрном центре ВИМ в 2023–2024 годах, оно включало совокупность определенных сведений, имеющих отношение к тепловому стрессу КРС.

Поиск исследований проводили по базе данных eLibrary, MDPI, Elsevier, Web Of Science, в Google Scholar.

В расширенном поиске рассматривались источники до 14 лет, и приведены основные источники информации до 5–6 лет. В частности, изучали опубликованные описания к охраняемым документам, опубликованные заявки на изобретение; российские (советские) издания, депонированные рукописи статей, обзоров, монографий и других материалов; отчеты и научно-исследовательские

работы, пояснительные записки к опытно-конструкторским работам и другую конструкторскую, технологическую и проектную документацию, находящуюся в органах научно-технической информации, с момента поступления в эти органы; материалы диссертаций и авторефератов, изданные на правах рукописи, с момента поступления в библиотеку; сведения о техническом средстве, ставшие известными в результате его использования в производственном процессе, в изготавливаемой или эксплуатируемой продукции, либо при ином введении в хозяйственный оборот.

Одной из наиболее распространенных формул¹ определения температурно-влажностного индекса является (1). Для ее вычисления используется уровень относительной влажности и температуру (в °C):

$$THI = 0,8 \times T + RH \times (T - 14,4) + 46,4, \quad (1)$$

где: T — температура окружающей среды, °C; RH — относительная влажность, выраженная в пропорции 75% = 0,75.

Согласно исследованиям Rosemarie и др., для определения данного индекса возможно использовать формулу (2) из исследований Buffington и др. [31]:

$$Tdb = (0,55 - (0,55 \times RH / 100) \times (Tdb - 58), \quad (2)$$

где: Tdb — температура, °F; RH — относительная влажность, %.

В других исследованиях используется формула (3), которая принята согласно национальному исследовательскому совету (NRC) [25]:

$$THI = (1,8 \times T + 32) - [(0,55 - 0,0055 \times H) \times (1,8 \times T - 26,8)], \quad (3)$$

где: T — среднесуточная температура, °C; H — среднее значение относительной влажности, %.

В зарубежных исследованиях можно встретить формулы определения температурно-влажностного индекса (4) и эквивалентного температурного индекса для молочного скотоводства (5)² [32]:

$$THI = (1,8 \times T + 32) - 0,0055 \times (100 - H) \times (1,8 \times T - 26), \quad (4)$$

$$ETIC = T_{DB} - 0,0038 \times T_{DB} \times (100 - RH) - 0,1173 \times u^{0,707} \times (39,20 - T_{DB}) + 1,86 \times 10^{-4} \times T_{DB} \times q_{sun} \quad (5)$$

Для обработки полученных данных был использован пакет программ Microsoft Office, в частности Microsoft Excel (США).

В исследованиях Eunjeong и др. приведен график связи значения теплового стресса и молочного удоя у корейских голштинских коров (рис. 1) [19].

Исходя из данных ранее проведенных исследований, установлено, что в большинстве случаев при использовании стандартного метода вычисления температурно-влажностного индекса границы значений, при которых фиксируется уровень теплового стресса, имеют явные отличия (рис. 2) [21].

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Исходя из данных, представленных в исследованиях Jeon и др., установлено, что значения THI, при которых наступает тепловой стресс, вызывающий негативные последствия в виде снижения удоев, — 30 °C и 70% относительной влажности. Но на протяжении увеличения индекса наблюдались колебания уровня удоев [33, 34].

Установлено, что на территории Южной Кореи индекс теплового стресса, при котором наблюдается снижение продуктивных показателей, значительно отличается от значений в иных исследованиях. Это обусловлено формулой, использующейся для определения индекса, породной принадлежностью скота и климатическими условиями данного региона.

Основываясь на данных аналитических и экспериментальных исследований, проведенных ранее, установлены значения, при которых наблюдается тепловой стресс [21, 23, 24].

На основе наиболее распространенной формулы¹ определения температурно-влажностного (теплового) индекса была модернизирована формула для более точного определения теплового индекса:

$$THI = 0,8 \times T + K \times RH \times (T - 14,4) \quad (6)$$

где: T — температура окружающей среды, °C; RH — относительная влажность, выраженная в пропорции 50% = 0,50; K — поправочный коэффициент влияния влажности кормов (находится в диапазоне 0,95–1,05

Рис. 1. График взаимосвязи значения температурно-влажностного индекса и ежедневного удоя молока: Milk yield — молочный удой, кг/д; THI_max — максимальный температурно-влажностный индекс; BP — точка перелома [19]

Fig. 1. Graph of the relationship between the temperature and humidity index and daily milk yield: Milk yield — milk yield, kg/d; THI_max — maximum temperature and humidity index; BP — breaking point [19]

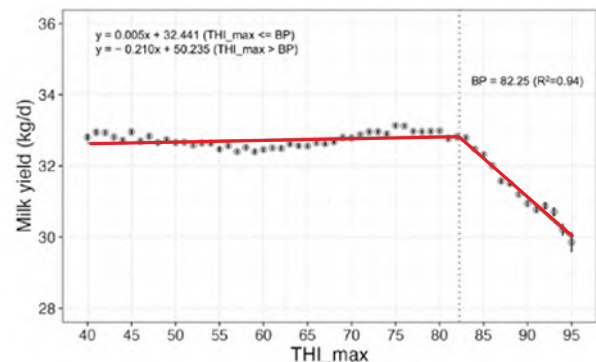


Рис. 2. Значение индекса теплового стресса в зависимости от температуры и относительной влажности воздуха

Fig. 2. Value of heat stress index depending on temperature and relative air humidity

φ \ °C	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35
50%	0,82	0,93	1,02	1,17	1,33	1,49	1,63	1,79
55%	0,83	1	1,16	1,25	1,39	1,56	1,72	1,83
60%	0,86	1,04	1,18	1,31	1,46	1,6	1,76	1,88
65%	0,88	1,09	1,21	1,39	1,56	1,82	1,86	1,98
70%	0,92	1,12	1,26	1,46	1,69	1,97	2,01	2,09
75%	0,96	1,12	1,28	1,61	1,92	2,06	2,18	2,28
80%	1	1,18	1,34	1,68	1,98	2,25	2,33	2,46

¹ Agrovent: official website. — URL: <https://agrovent.ru/blog/poleznaya-informatsiya/sistemy-tumanoobrazovaniya-i-nizkogo-davleniya-v-korovnikakh/> (circulation date: 29.04.2024).

² Erdman R.A., Weiss W.P., Allen M.S. National Academies of Sciences Engineering and Medicine. In Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Eighth Revised Edition. The National Academies Press: Washington. DC. 2021; 502. ISBN 978-0309677776. DOI: 10.17226/25806

в зависимости от вида корма: 0,95 — молотое зерно; 1,00 — гранулированные комбикорма; 1,05 — сочные корма с высоким содержанием влажности).

Модернизация наиболее часто используемой формулы определения THI позволит получать более точные значения за счет учитывания такого фактора, как корма, которые находятся на кормовом столе.

В зависимости от типа корма и его состояния может наблюдаться как поглощение влаги в помещении, так и его выработка. В числовых значениях это занимает незначительную часть — около 5%, но при больших количествах значения могут изменяться.

Изменение индекса теплового стресса в зависимости от значений температуры и уровня относительной влажности в помещении для содержания крупного рогатого скота представлено на рисунках 3, 4. На рисунке 4 приведена легенда изменения цвета в зависимости от уровня теплового стресса крупного рогатого скота.

На рисунке 5 приведено цветовое разделение по уровню теплового стресса для крупного рогатого скота.

Исходя из данных, представленных на рисунках 3, 4, установлено, что легкий тепловой стресс наступает при 21,5 °C и 75% относительной влажности, умеренный — при 23 °C и 65% относительной влажности, средний — при 25 °C и 55% относительной влажности, сильный — при 27,5 °C и 60% относительной влажности, критичный — при 30 °C и 80% относительной влажности.

Следует отметить, что по мере изменения значений температуры и уровня относительной влажности затруднительно определить четкие границы того или иного уровня теплового стресса. Данное наблюдение свидетельствует о том, что в отсутствие мониторинга и своевременной идентификации индекса THI возможно допущение ситуации, когда животные будут испытывать тепловой стресс.

Например, было установлено, что у коров голштинской породы в Волгоградской области снижается уровень оплодотворяемости при THI с значением 73. Данные исследования подтверждают необходимость использования современных способов точного определения значения температурно-влажностного индекса для своевременного принятия мер по снижению температурного стресса [35].

На основе данных, полученных в проведенных ранее исследованиях [21, 23, 24] и представленных на рисунке 2, было выявлено, что легкий тепловой стресс наступает при 22,5 °C и 55% относительной влажности, умеренный — при 25 °C и 65% относительной влажности, средний — при 25 °C и 75% относительной влажности, сильный — при 27,5 °C и 75% относительной влажности,

Рис. 3. Температурно-влажностный индекс, легкий, умеренный
Fig. 3. Temperature-humidity index, mild, moderate

°C \ φ	17,5	18,0	18,5	19,0	19,5	20,0	20,5	21,0	21,5	22,0	22,5	23,0
0,50												
0,55												
0,60												
0,65												
0,70												
0,75												
0,80												
0,85												
0,90												

Рис. 4. Температурно-влажностный индекс, средний, сильный, высокий, критичный тип
Fig. 4. Temperature-humidity index, medium, strong, high, critical type

23,5	24,0	24,5	25,0	25,5	26,0	26,5	27,0	27,5	28,0	28,5	29,0	29,5	30,0	30,5	31,0	31,5	32,0	32,5	33,0

Рис. 5. Цветовое отображение уровня теплового стресса
Fig. 5. Color representation of heat stress level

	Нет теплового стресса
	Легкий тепловой стресс
	Умеренный тепловой стресс
	Средний тепловой стресс
	Сильный тепловой стресс
	Тяжелый тепловой стресс

критичный — при 30 °C и 80% относительной влажности. При этом важно отметить, что, исходя из данных других исследований, такие значения температуры и уровня относительной влажности оказывают сильное влияние на организм животного и явно не совпадают с установленным уровнем [19, 20].

Выводы/Conclusions

В результате исследования введен поправочный коэффициент влияния влажности кормов, который варьируется от 0,95 до 1,05 (в зависимости от кормовой смеси для животных).

Уточнен диапазон значений теплового стресса при увеличении THI на 4–9 единиц от значений теплового стресса, оказывающий негативное влияние, продуктивность скота снижается на 6,7–11,8%.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Авторы внесли вклад в эту научную работу (И.М. Довлатов — 30%, И.В. Комков — 25%, С.О. Базаев — 20%, Ф.Е. Владимиров — 10%, А.Р. Хакимов — 15%). Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Rashid D., Khalimat T. Climate change, greenhouse gases and the bioeconomy. *BIO Web of Conferences. 1 International Conference "Biotechnologies in the Context of Human Development" (BCHD-2023)*. Les Ulis. 2023; 76: 07008. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20237607008>
- Pawar S.S. et al. Assessing and mitigating the impact of heat stress in poultry. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*. 2016; 4(6): 332–341. <https://doi.org/10.14737/journal.aavs/2016/4.6.332.341>
- Явников Н.В. Стратегия борьбы с тепловым стрессом в птицеводстве. *Аграрная наука*. 2020; (6): 25–28. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-339-6-25-28>

All authors bear responsibility for the work and presented data. The authors contributed to this scientific work (I.M. Dovlatov — 30%, I.V. Komkov — 25%, S.O. Bazaev — 20%, F.E. Vladimirov — 10%, A.R. Hakimov — 15%). The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

REFERENCES

- Rashid D., Khalimat T. Climate change, greenhouse gases and the bioeconomy. *BIO Web of Conferences. 1 International Conference "Biotechnologies in the Context of Human Development" (BCHD-2023)*. Les Ulis. 2023; 76: 07008. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20237607008>
- Pawar S.S. et al. Assessing and mitigating the impact of heat stress in poultry. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*. 2016; 4(6): 332–341. <https://doi.org/10.14737/journal.aavs/2016/4.6.332.341>
- Yavnikov N.V. The strategy for dealing with heat stress in poultry. *Agrarian science*. 2020; (6): 25–28 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-339-6-25-28>

4. Бабин Г.Ю., Полуночкина Т.В., Дорофеева С.Г., Александрова С.С., Мифтахутдинов А.В. Сохранение производственных показателей у цыплят-бройлеров в условиях теплового стресса. *Аграрная наука*. 2022; (1): 19–23. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-355-1-19-23>
5. Мифтахутдинов А.В., Сайфулмулюков Э.Р., Дорофеева С.Г., Аносов Д.Е. Коррекция развития теплового стресса у цыплят-бройлеров в комплексе ветеринарно-санитарных мероприятий, применяемых на птицефабрике промышленного типа. *Аграрная наука*. 2022; 1(7–8): 49–54. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-361-7-8-44-54>
6. Chaplinskikh A.Ya., Nikulin I.A. Pharmacological correction of technological stress in bulls and assessment of the influence of stress factors on semen quality. *III International Scientific and Practical Conference "Problems and Prospects of Scientific and Innovative Support of the Agro-Industrial Complex of the Regions" 2021*. EDP Sciences. 2021; 32: 04008. <https://www.elibrary.ru/rldui>
7. Сайфулмулюков Э.Р., Мифтахутдинов А.В., Ноговицина Е.А., Ребезов М.Б. Биохимический профиль крови и химический состав мяса птицы в условиях развития транспортного и теплового стрессов у цыплят-бройлеров на фоне применения фармакологических средств. *АПК России*. 2022; 29(1): 78–82. <https://www.elibrary.ru/gqtxrr>
8. Мифтахутдинов А.В., Диктярук И.Н. Влияние антистрессового фармакологического комплекса «СПАО» на эффективность профилактической иммунизации кур против болезни Ньюкасла. *Аграрная наука*. 2020; 3(3): 13–16. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-336-3-13-16>
9. Руд 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>
10. Некрасов Р.В., Чабаяев М.Г., Боголюбова Н.В., Цис Е.Ю., Рыков Р.А., Семенова А.А. Влияние алиментарных факторов на обмен веществ растущих откармливаемых свиней в условиях технологических стрессов. *Аграрная наука*. 2019; (10): 49–55. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-332-9-49-54>
11. Gorelik O.V. et al. Dynamics of hematological indicators of chickens under stress-inducing influence. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2020; 10(2): 264–267. https://doi.org/10.15421/2020_94
12. Gorelik O.V. et al. Influence of transport stress on the adaptation potential of chicken. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2020; 10(2): 260–263. https://doi.org/10.15421/2020_93
13. Харлап С.Ю., Лоретц О.Г., Горелик О.В., Ребезов М.Б., Максимюк Н.Н. Изменение лейкоцитарных индексов при оценке воздействия стресс-фактора. Актуальные проблемы биотехнологии и ветеринарной медицины. Материалы Международной научно-практической конференции молодых ученых. Молодежный: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского. 2017; 419–429. <https://www.elibrary.ru/xzgiikl>
14. Collier J.R., Baumgard H.L., Zimbelman B.R., Xiao Y. Heat stress: physiology of acclimation and adaptation. *Animal Frontiers*. 2018; 9(1): 12–19. <https://doi.org/10.1093/af/vfy031>
15. Юшкова О.С., Лоушкина Е.В. Тепловой стресс у крупного рогатого скота. Наука в исследованиях молодежи. Сборник статей по материалам Студенческой научной конференции. Курган: Курганская государственная сельскохозяйственная академия. 2022; 2: 185–189. <https://www.elibrary.ru/ppwwze>
16. Zimbelman R.B., Collier R.J. Feeding Strategies for High-Producing Dairy Cows During Periods of Elevated Heat and Humidity. *Tri-State Dairy Nutrition Conference*. 2011; 111–122.
17. Bepamiatnykh E.N., Isaeva A.G., Sokolova O.V., Zubareva V.D., Krivonogova A.S. Hormonal panel of various breeds of cattle under the conditions of temperature stress. *BIO Web of Conferences. International Scientific and Practical Conference "Methods for Synthesis of New Biologically Active Substances and Their Application in Various Industries of the World Economy – 2023" (MSNBAS2023)*. Les Ulis. 2024; 82: 02041. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20248202041>
18. Rud E., Kuzminova E., Semenenko M., Semenenko K., Abramov A. The role of endogenous intoxication in pathogenetic mechanisms of heat stress in cattle. *E3S Web of Conferences. 14th International Scientific and Practical Conference on State and Prospects for the Development of Agribusiness, INTERAGROMASH 2021*. Rostov-on-Don. 2021; 273: 02017. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127302017>
19. Jeon E., Jang S., Yeo J.-M., Kim D.-W., Cho K. Impact of Climate Change and Heat Stress on Milk Production in Korean Holstein Cows: A Large-Scale Data Analysis. *Animals*. 2023; 13(18): 2946. <https://doi.org/10.3390/ani13182946>
20. 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>
21. 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
22. Ковалева Г.П., Лапина М.Н., Сулыга Н.В. Влияние теплового стресса на воспроизводительную способность молочных коров и способ ее коррекции. *Сельскохозяйственный журнал*. 2022; (2): 58–65. <https://www.elibrary.ru/becepp>
23. Fathoni A., Boonkum W., Chankitisakul V., Duangjinda M. An Appropriate Genetic Approach for Improving Reproductive Traits in Crossbred Thai–Holstein Cattle under Heat Stress Conditions. *Veterinary Sciences*. 2022; 9(4): 163. <https://doi.org/10.3390/vetsci9040163>
4. Babin G.Yu., Polunochkina T.V., Dorofeeva S.G., Alexandrova S.S., Miftakhutdinov A.V. Preservation of production indicators in broiler chickens under heat stress. *Agrarian science*. 2022; (1): 19–23 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-355-1-19-23>
5. Miftakhutdinov A.V., Sayfulmulyukov E.R., Dorofeeva S.G., Anosov D.E. Correction of the development of heat stress in broiler chickens in the complex of veterinary and sanitary measures used in an industrial-type poultry farm. *Agrarian science*. 2022; 1(7–8): 49–54 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-361-7-8-44-54>
6. Chaplinskikh A.Ya., Nikulin I.A. Pharmacological correction of technological stress in bulls and assessment of the influence of stress factors on semen quality. *III International Scientific and Practical Conference "Problems and Prospects of Scientific and Innovative Support of the Agro-Industrial Complex of the Regions" 2021*. EDP Sciences. 2021; 32: 04008. <https://www.elibrary.ru/rldui>
7. Saifulmulyukov E.R., Miftakhutdinov A.V., Nogovitsina E.A., Rebezov M.B. Biochemical profile of blood and chemical composition of poultry meat in the conditions of development of transport and heat stresses in broiler chickens against the background of the use of pharmacological agents. *Agro-industrial complex of Russia*. 2022; 29(1): 78–82 (in Russian). EDN: gqtxrr
8. Miftakhutdinov A.V., Dikhtyaruk I.N. The influence of the anti-stress pharmacological complex "SPA0" on the effectiveness of preventive immunization of chickens against Newcastle disease. *Agrarian science*. 2020; 3(3): 13–16 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-336-3-13-16>
9. 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>
10. Nekrasov R.V., Chabaev M.G., Bogolyubova N.V., Tsis E.Yu., Rykov R.A., Semenova A.A. The influence of nutritional factors on metabolism of growing fattening pigs in conditions of technological stress. *Agrarian science*. 2019; (10): 49–55 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-332-9-49-54>
11. Gorelik O.V. et al. Dynamics of hematological indicators of chickens under stress-inducing influence. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2020; 10(2): 264–267. https://doi.org/10.15421/2020_94
12. Gorelik O.V. et al. Influence of transport stress on the adaptation potential of chicken. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2020; 10(2): 260–263. https://doi.org/10.15421/2020_93
13. Kharlap S.Yu., Lorets O.G., Gorelik O.V., Rebezov M.B., Maksimuk N.N. Changes in leukocyte indices when assessing the impact of a stress factor. *Actual problems of biotechnology and veterinary medicine. Proceedings of the international scientific and practical conference of young scientists. Molodezhnyy: Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky*. 2017; 419–429 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/xzgiikl>
14. Collier J.R., Baumgard H.L., Zimbelman B.R., Xiao Y. Heat stress: physiology of acclimation and adaptation. *Animal Frontiers*. 2018; 9(1): 12–19. <https://doi.org/10.1093/af/vfy031>
15. Yushkova O.S., Loushkina E.V. Heat stress in cattle. *Science in Youth Research. Collection of articles based on the materials of the Student scientific conference*. Kurgan: Kurgan State Agricultural Academy. 2022; 2: 185–189 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/ppwwze>
16. Zimbelman R.B., Collier R.J. Feeding Strategies for High-Producing Dairy Cows During Periods of Elevated Heat and Humidity. *Tri-State Dairy Nutrition Conference*. 2011; 111–122.
17. Bepamiatnykh E.N., Isaeva A.G., Sokolova O.V., Zubareva V.D., Krivonogova A.S. Hormonal panel of various breeds of cattle under the conditions of temperature stress. *BIO Web of Conferences. International Scientific and Practical Conference "Methods for Synthesis of New Biologically Active Substances and Their Application in Various Industries of the World Economy – 2023" (MSNBAS2023)*. Les Ulis. 2024; 82: 02041. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20248202041>
18. Rud E., Kuzminova E., Semenenko M., Semenenko K., Abramov A. The role of endogenous intoxication in pathogenetic mechanisms of heat stress in cattle. *E3S Web of Conferences. 14th International Scientific and Practical Conference on State and Prospects for the Development of Agribusiness, INTERAGROMASH 2021*. Rostov-on-Don. 2021; 273: 02017. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127302017>
19. Jeon E., Jang S., Yeo J.-M., Kim D.-W., Cho K. Impact of Climate Change and Heat Stress on Milk Production in Korean Holstein Cows: A Large-Scale Data Analysis. *Animals*. 2023; 13(18): 2946. <https://doi.org/10.3390/ani13182946>
20. 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>
21. 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
22. Kovaleva G.P., Lapina M.N., Sulyga N.V. Effect of heat stress on the reproductive capacity of dairy cows and the method for its improvement. *Agricultural journal*. 2022; (2): 58–65 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/becepp>
23. Fathoni A., Boonkum W., Chankitisakul V., Duangjinda M. An Appropriate Genetic Approach for Improving Reproductive Traits in Crossbred Thai–Holstein Cattle under Heat Stress Conditions. *Veterinary Sciences*. 2022; 9(4): 163. <https://doi.org/10.3390/vetsci9040163>

24. Antanaitis R. *et al.* Assessment of Ruminating, Eating, and Locomotion Behavior during Heat Stress in Dairy Cattle by Using Advanced Technological Monitoring. *Animals*. 2023; 13(18): 2825. <https://doi.org/10.3390/ani13182825>
25. Stojković B., Stojanović B., Đorđević N., Davidović V. Effect of elevated heat and humidity on chewing activity, yield and chemical composition of milk in lactating cows. *1st International Symposium on Biotechnology. Proceedings. Čačak, Serbia*. 2023; 195–203. <https://doi.org/10.46793/SBT28.195S>
26. Ivanov Yu., Novikov N. Digital intelligent microclimate control of livestock farms. *E3S Web of Conferences. "13th International Scientific and Practical Conference on State and Prospects for the Development of Agribusiness, INTERAGROMASH 2020"*. EDP Sciences. 2020; 175: 11012. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017511012>
27. Kochetova O.V., Kostarev S.N., Tatarnikova N.A., Sereda T.G. Development of microclimate control system in cattle barns for cattle housing in the perm region. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. V International scientific conference on agribusiness, environmental engineering and biotechnologies*. IOP Publishing Ltd. 2021; 839: 32030. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/839/3/032030>
28. Kic P. Influence of External Thermal Conditions on Temperature-Humidity Parameters of Indoor Air in a Czech Dairy Farm during the Summer. *Animals*. 2022; 12(15): 1895. <https://doi.org/10.3390/ani12151895>
29. Dovlatov I.M., Yuferev L.Yu., Pavkin D.Yu. Appliance for Air Quality Improvement in Premises. Saini J., Dutta M., Marques G., Halgamuge M.N. (eds.). Integrating IoT and AI for Indoor Air Quality Assessment. Cham: Springer. 2022; 135–148. https://doi.org/10.1007/978-3-030-96486-3_9
30. Rodriguez-Venegas R., Meza-Herrera C.A., Robles-Trillo P.A., Angel-Garcia O., Rivas-Madero J.S., Rodriguez-Martinez R. Heat Stress Characterization in a Dairy Cattle Intensive Production Cluster under Arid Land Conditions: An Annual, Seasonal, Daily, and Minute-To-Minute, Big Data Approach. *Agriculture*. 2022; 12(6): 760. <https://doi.org/10.3390/agriculture12060760>
31. Zimbelman R.B., Rhoads R.P., Rhoads M.L., Duff G.C., Baumgard L.H., Collier R.J. A Re-Evaluation of the Impact of Temperature Humidity Index (THI) and Black Globe Humidity Index (BGHI) on Milk Production in High Producing Dairy Cows. *Proceedings of the 24th Southwest Nutrition and Management Conference*. 2009; 158–168.
32. Colombari D., Masoero F., Della Torre A. A CFD Methodology for the Modelling of Animal Thermal Welfare in Hybrid Ventilated Livestock Buildings. *AgriEngineering*. 2024; 6(2): 1525–1548. <https://doi.org/10.3390/agriengineering6020087>
33. 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>
34. 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>
35. Гальченко В.А., Перерядкина С.П., Юдина К.С. Влияние теплового стресса на процент оплодотворяемости у молочного скота в условиях Волгоградской области. Актуальные вопросы аграрной науки. *Сборник трудов по итогам Всероссийской научно-практической конференции. Нижний Новгород: Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия*. 2023; 32–35. <https://www.elibrary.ru/nqhnln>

ОБ АВТОРАХ

Игорь Мамедьярович Довлатов

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

Илья Владимирович Комков

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

Савр Олегович Базаев

кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник
sbazaeff@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3028-5081>

Фёдор Евгеньевич Владимиров

научный сотрудник
fvladimirov21@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-2480-5754>

Артем Рустамович Хакимов

младший научный сотрудник
arty.hv@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-4332-9274>

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

24. Antanaitis R. *et al.* Assessment of Ruminating, Eating, and Locomotion Behavior during Heat Stress in Dairy Cattle by Using Advanced Technological Monitoring. *Animals*. 2023; 13(18): 2825. <https://doi.org/10.3390/ani13182825>

25. Stojković B., Stojanović B., Đorđević N., Davidović V. Effect of elevated heat and humidity on chewing activity, yield and chemical composition of milk in lactating cows. *1st International Symposium on Biotechnology. Proceedings. Čačak, Serbia*. 2023; 195–203. <https://doi.org/10.46793/SBT28.195S>

26. Ivanov Yu., Novikov N. Digital intelligent microclimate control of livestock farms. *E3S Web of Conferences. "13th International Scientific and Practical Conference on State and Prospects for the Development of Agribusiness, INTERAGROMASH 2020"*. EDP Sciences. 2020; 175: 11012. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017511012>

27. Kochetova O.V., Kostarev S.N., Tatarnikova N.A., Sereda T.G. Development of microclimate control system in cattle barns for cattle housing in the perm region. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. V International scientific conference on agribusiness, environmental engineering and biotechnologies*. IOP Publishing Ltd. 2021; 839: 32030. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/839/3/032030>

28. Kic P. Influence of External Thermal Conditions on Temperature-Humidity Parameters of Indoor Air in a Czech Dairy Farm during the Summer. *Animals*. 2022; 12(15): 1895. <https://doi.org/10.3390/ani12151895>

29. Dovlatov I.M., Yuferev L.Yu., Pavkin D.Yu. Appliance for Air Quality Improvement in Premises. Saini J., Dutta M., Marques G., Halgamuge M.N. (eds.). Integrating IoT and AI for Indoor Air Quality Assessment. Cham: Springer. 2022; 135–148. https://doi.org/10.1007/978-3-030-96486-3_9

30. Rodriguez-Venegas R., Meza-Herrera C.A., Robles-Trillo P.A., Angel-Garcia O., Rivas-Madero J.S., Rodriguez-Martinez R. Heat Stress Characterization in a Dairy Cattle Intensive Production Cluster under Arid Land Conditions: An Annual, Seasonal, Daily, and Minute-To-Minute, Big Data Approach. *Agriculture*. 2022; 12(6): 760. <https://doi.org/10.3390/agriculture12060760>

31. Zimbelman R.B., Rhoads R.P., Rhoads M.L., Duff G.C., Baumgard L.H., Collier R.J. A Re-Evaluation of the Impact of Temperature Humidity Index (THI) and Black Globe Humidity Index (BGHI) on Milk Production in High Producing Dairy Cows. *Proceedings of the 24th Southwest Nutrition and Management Conference*. 2009; 158–168.

32. Colombari D., Masoero F., Della Torre A. A CFD Methodology for the Modelling of Animal Thermal Welfare in Hybrid Ventilated Livestock Buildings. *AgriEngineering*. 2024; 6(2): 1525–1548. <https://doi.org/10.3390/agriengineering6020087>

33. 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>

34. 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>

35. Galchenko V.A., Pereryadkina S.P., Yudina K.S. Influence of heat stress on the percentage of fertilization in dairy cattle in the Volgograd region. *Actual issues of agrarian science. Collection of papers on the results of the All-Russian scientific and practical conference. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Agricultural Academy*. 2023; 32–35 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/nqhnln>

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

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

Savr Olegovich Bazaev

Candidate of Agricultural Sciences, Researcher
sbazaeff@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3028-5081>

Fedor Evgenievich Vladimirov

Research Associate
fvladimirov21@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-2480-5754>

Artem Rustamovich Khakimov

Junior Research Assistant
arty.hv@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-4332-9274>

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