

## ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.22.01 : 697.9

DOI: 10.26897/2687-1149-2022-6-9-14

**КОМБИНИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МЕСТНОЙ ВЕНТИЛЯЦИЕЙ В ЖИВОТНОВОДЧЕСКОМ ПОМЕЩЕНИИ****ИВАНОВ ЮРИЙ ГРИГОРЬЕВИЧ** , *д-р техн. наук, профессор*electro@rgau-msha.ru ; <https://orcid.org/0000-0002-4766-9532>**БОРУЛЬКО ВЯЧЕСЛАВ ГРИГОРЬЕВИЧ**, *д-р техн. наук, доцент*vborulko@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3221-3567>, Scopus ID57224405698, ResearcherID: AAE-4940-2022**АНДРЕЕВ СЕРГЕЙ АНДРЕЕВИЧ**, *канд. техн. наук, доцент*energo-andreev@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8945-963X>

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

**Аннотация.** Продуктивность коров зависит от температурно-влажностных показателей окружающей среды. На фермах с беспривязно-боксовым содержанием коров с местной принудительной вентиляцией целесообразно осуществлять ее управление по клинико-физиологическим показателям состояния коров. С этой целью проанализированы экспериментальные исследования зависимости частоты сокращений сердца и частоты дыхания животных от превышения температуры и относительной влажности воздуха. Проведен анализ динамики изменения клинико-физиологических показателей животных при воздействии на них тепловыми и влажностными факторами в форме единичного ступенчатого воздействия. Для предотвращения теплового стресса животных предложено осуществлять управляющее воздействие местной вентиляцией по комбинированному принципу, когда в качестве объекта управления выступает животное, а управляемыми величинами являются частота сокращений сердца и частота дыхания. В этой системе роль возмущающих воздействий принадлежит температуре и влажности воздуха в животноводческом помещении. В то же время контур управления температурой и влажностью выполняет страховую функцию. Командный фактор для формирования управляющего воздействия в установившемся режиме предложено рассматривать как произведение масштабированных отклонений фактических значений частоты сокращений сердца и частоты дыхания от их нормированных значений. По результатам анализа динамических свойств объекта управления предложено осуществлять формирование управляющего воздействия по пропорционально-дифференциальному закону, для реализации которого необходим периодический поворот вентиляторов.

**Ключевые слова:** содержание коров, параметры микроклимата, температурно-влажностный режим, температурный стресс, местная вентиляция, частота сердечных сокращений, частота дыхания, система управления, комбинированное управление

**Формат цитирования:** 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>.

© Иванов Ю.Г., Борулько В.Г., Андреев С.А., 2022



## ORIGINAL PAPER

**COMBINED LOCAL VENTILATION CONTROL SYSTEM IN A LIVESTOCK HOUSE****YURI G. IVANOV** , *DSc (Eng), Professor*electro@rgau-msha.ru ; <https://orcid.org/0000-0002-4766-9532>**VYACHESLAV G. BORULKO**, *DSc (Eng), Associate Professor*vborulko@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3221-3567>, Scopus ID57224405698, ResearcherID: AAE-4940-2022**SERGEY A. ANDREEV**, *PhD (Eng), Associate Professor*energo-andreev@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8945-963X>

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation

**Abstract.** The productivity of cows depends on the temperature and humidity of the environment. On farms with the loose-box keeping of cows with local forced ventilation, it is advisable to control the environment according to the clinical and physiological indicators of the cows' condition. For this purpose, the authors conducted experimental studies to analyze the dependence of the heart rate and respiratory rate of animals on overtemperature and relative air humidity. The study focused on the dynamics of changes in the clinical and physiological parameters of animals under the influence of thermal and humidity factors in the form of a single step impact. To prevent heat stress in animals, it is proposed to control local ventilation according to the combined principle, where the animal acts as the object of control, and the controlled values are the heart rate and respiratory rate. In this system, the role of disturbing influences belongs to air temperature and humidity

in the livestock building. At the same time, the temperature and humidity control circuit performs a safeguard function. The command factor making the control action in the steady state is proposed to be considered the product of the scaled deviations of the actual values of the heart rate and the respiratory rate from their normalized values. Based on the analysis results of the dynamic properties of the control object, the authors propose to form the control action according to the proportional-differential law, which requires a periodic rotation of the fans.

**Keywords:** cow keeping, indoor climate parameters, temperature and humidity parameters, temperature stress, local ventilation, heart rate, respiratory rate, control system, combined control

**For citation:** 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 Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-6-9-14>.

**Введение.** Создание благоприятных условий содержания крупного рогатого скота остается важной задачей современного животноводства. Традиционное решение этой задачи сводится к обеспечению научно обоснованных параметров микроклимата, закрепленных в зооветеринарных нормах и включающих в себя требуемые значения температуры и влажности воздушной среды [1, 2]. Современные конструкции молочных ферм практически лишены теплоизоляции и содержат открытые стенные проемы и вентиляционный конек<sup>1</sup>. Вследствие этого температура и влажность воздуха внутри таких сооружений сильно зависят от параметров окружающей среды, что является причиной нарушения установленных норм.

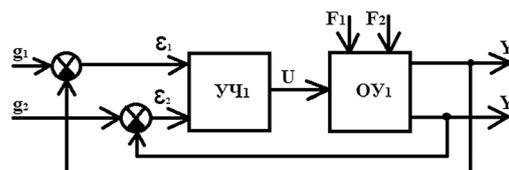
Известно, что превышение температуры воздуха в животноводческом помещении всего лишь на 1...2 град. значения 25°C определяет снижение суточного удоя на 1 л [3]. Отрицательное влияние превышения температуры на организм животных приобретает особое значение в летнее время, и преимущественно – в южных регионах страны [4]. Можно отметить, что и увеличение относительной влажности с 85 до 95% приводит к снижению надоев на 9...12% [5].

Для предотвращения тепловых стрессов у коров, а также для обеспечения требуемого состава воздуха используют активную вентиляцию помещений. Количественные характеристики активной вентиляции (например, производительность вентилятора, его расположение в пространстве, алгоритм включения и длительность работы) выбираются в соответствии с учетом условий особенностей содержания животных. Как правило, решение этой задачи сводится к реализации управления по замкнутому принципу, при котором управляющее воздействие формируется с целью создания благоприятных параметров микроклимата. Функциональная схема такой системы управления представлена на рисунке 1.

Для достижения благоприятных условий производится формирование управляющего воздействия  $U$  при возникновении отклонений  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$ , превышающих заранее установленные допуски [6]. Однако при таком подходе не может быть учтена фактическая реакция животных на параметры микроклимата. Различия между ожидаемой и фактической реакцией объясняются различным физиологическим состоянием животных: их возрастом, биологическими ритмами, особенностями кормления и т.д. Кроме того, централизованная активная вентиляция не способна обеспечить равномерное удаление излишков тепловой энергии по всему объему помещения, создавая различные температурно-влажностные условия для отдельных животных.

Прогрессивное направление повышения эффективности систем искусственного микроклимата на фермах с беспривязно-боксовом содержании коров заключается в использовании местной принудительной вентиляции, управляемой

по клинико-физиологическим показателям состояния коров [7]. В результате рекогносцировочных исследований установлено, что такими показателями могут стать частота сердечных сокращений и частота дыхания животных.



**Рис. 1. Функциональная схема системы управления микроклиматом в животноводческом помещении:**  
 ОУ<sub>1</sub> (объект управления) – животноводческое помещение;  
 УЧ<sub>1</sub> (управляющая часть) – совокупность технических средств;  
 Y<sub>1</sub> (температура) и Y<sub>2</sub> (влажность) – управляемые параметры в животноводческом помещении;  
 g<sub>1</sub> и g<sub>2</sub> (задающие воздействия) – требуемые значения температуры и влажности;  
 F<sub>1</sub> и F<sub>2</sub> – внешние факторы, влияющие на температуру и влажность в животноводческом помещении;  
 ε<sub>1</sub> и ε<sub>2</sub> – отклонения фактических значений температуры и влажности от заданных значений (ε<sub>1</sub> = g<sub>1</sub> – Y<sub>1</sub> и ε<sub>2</sub> = g<sub>2</sub> – Y<sub>2</sub>);  
 U (управляющее воздействие) – расход воздуха

**Fig. 1. Functional diagram of the climate control system in a livestock building:**  
 ОУ<sub>1</sub> (control object) – livestock building; УЧ<sub>1</sub> (control part) – a set of technical means; Y<sub>1</sub> – temperature and Y<sub>2</sub> – humidity – controlled parameters in the livestock building;  
 g<sub>1</sub> and g<sub>2</sub> (setting actions) – required values of temperature and humidity; F<sub>1</sub> and F<sub>2</sub> – external factors affecting the temperature and humidity in the livestock building;  
 ε<sub>1</sub> and ε<sub>2</sub> – deviations of the actual values of temperature and humidity from the set values, ε<sub>1</sub> = g<sub>1</sub> – y<sub>1</sub> and ε<sub>2</sub> = g<sub>2</sub> – y<sub>2</sub>;  
 U (control action) – air flow

**Цель исследований:** изучение динамики изменения клинико-физиологических параметров животных при внешних тепловых и влажностных воздействиях и обоснование комбинированного принципа управления местной принудительной вентиляцией.

**Материалы и методы.** Исходными материалами послужили результаты экспериментальных исследований динамики изменения частоты сердечных сокращений и частоты дыхания коров при единичных ступенчатых воздействиях температуры и влажности окружающей среды, зооветеринарные нормы содержания животных, а также сведения из классической теории управления. В работе использованы метод активного эксперимента и метод оптимизации замкнутых систем управления. Для проведения исследований были сформированы две группы животных-аналогов и создана климатическая камера, обеспечивающая формирование заданных значений температуры, относительной влажности и скорости потока воздуха. В процессе эксперимента

<sup>1</sup> Нормы технологического проектирования предприятий крупного рогатого скота: НТП 1-99. М.: МСХ РФ, 1999. 152 с.

осуществлялась регистрация клинико-физиологических показателей коров и параметров микроклимата в климатической камере.

Климатическая камера представляет собой специальный изолированный бокс на три коровы, состоящий из деревянного каркаса, обтянутого прозрачной полиэтиленовой пленкой. Климатическая камера оснащена теплогенератором, устройствами принудительной вентиляции и увлажнения воздуха, а также комплексом контрольно-измерительных приборов.

Исследования проводились в коровнике зоостанции РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева с двумя группами коров черно-пестрой породы, по три особи в каждой группе. Шесть коров одного возраста находились в промежуточной стадии лактации. Среднее количество дней лактации – 100-160, средний удой – от 25 до 32 кг/корову (на день начала исследования). Первая группа содержалась в климатической камере с применением принудительной вентиляции, а вторая группа (контрольная) содержалась в климатической камере с использованием естественной вентиляции.

Микроклиматические параметры измерялись на различной высоте в разных зонах камеры и коровника. Для измерения температуры, относительной влажности, скорости потока воздуха и атмосферного давления применялся электронный регистратор Метеоскоп-М. Температура тела животного измерялась ректально термометром с ценой деления 0,1°C. Частота сердечных сокращений измерялась пальпацией вены в хвосте коровы. Частота дыхания животного оценивалась визуально по двигательным движениям грудной клетки.

**Результаты и их обсуждение.** Температурно-влажностный режим играет решающую роль в обеспечении условий эффективного животноводства. Превышение температуры и относительной влажности воздуха в животноводческом помещении сверх допустимых значений вызывает изменение клинико-физиологических показателей животных, и в первую очередь – частоты сокращения сердца и частоты дыхания.

Экспериментально установлено, что при относительной влажности воздуха 50% изменение температуры среды с 15 до 35°C вызывало увеличение пульса животного на 32,7% (с 64,3 до 85,3 ударов в 1 мин). При относительной влажности воздуха 65% аналогичные изменения температуры определили увеличение пульса уже на 41,2% (с 65,7 до 92,7 ударов в 1 мин). Наконец, при относительной влажности воздуха 80% это увеличение достигло 64,0% (с 63 до 103,3 ударов в 1 мин). Подобные наблюдения были произведены относительно частоты дыхания. Отмечено, что при относительной влажности воздуха 50% увеличение температуры с 15 до 30°C вызвало рост частоты дыхания в среднем на 65,70% (с 20,7 до 34,3 дыхательных движений в 1 мин). При относительной влажности 65% этот показатель составил 84,82% (с 19,1 до 35,3 дыхательных движений в 1 мин), при 80% – 116,23% (с 19,1 до 41,3 дыхательных движений в 1 мин). Более полная информация по зависимостям частоты сердечных сокращений и частоты дыхания от приращения температуры при различных значениях относительной влажности воздуха представлена в таблицах 1, 2 [8].

Таблица 1

**Изменение частоты сердечных сокращений животных при различной температуре и относительной влажности воздуха, %**

Table 1

**Change in the heart rate of animals at different values of temperature and relative humidity, %**

Относительная влажность воздуха, % <i>Relative humidity, %</i>	Температура воздуха, °C / <i>Air temperature, °C</i>								
	15,0	17,5	20,0	22,5	25,0	27,5	30,0	32,5	35,0
50	64,30	64,30	68,70	68,30	75,00	78,30	79,00	83,70	85,30
55	65,30	65,30	69,70	72,30	74,30	76,70	80,00	85,30	87,70
60	63,00	65,30	65,70	67,30	72,00	77,30	79,70	86,00	88,30
65	65,70	64,00	70,30	72,30	76,70	80,30	84,30	89,70	92,70
70	66,30	65,30	69,70	74,30	75,30	82,00	86,70	91,30	95,00
75	63,30	63,30	67,30	74,00	75,30	80,70	86,00	93,30	100,70
80	63,00	65,30	68,30	71,70	76,30	82,70	88,70	98,30	103,30

Таблица 2

**Изменение частоты дыхательных движений животных при различной температуре и относительной влажности воздуха, %**

Table 2

**Change in the frequency of respiratory movements of animals at different values of temperature and relative air humidity, %**

Относительная влажность воздуха, % <i>Relative humidity, %</i>	Температура воздуха, °C / <i>Air temperature, °C</i>								
	15,0	17,5	20,0	22,5	25,0	27,5	30,0	32,5	35,0
50	20,7	22,1	23,2	23,2	25,3	26,1	28,2	30,2	34,3
55	19,3	21,4	23,2	24,1	25,3	27,2	29,2	30,4	34,1
60	19,7	20,2	22,3	24,2	26,3	28,3	30,2	32,1	35,7
65	19,1	22,1	23,2	25,1	27,2	29,2	32,3	34,2	35,3
70	19,3	21,0	24,0	24,1	29,3	31,0	34,2	35,2	37,3
75	19,3	23,2	24,2	26,2	32,1	35,2	36,1	38,3	39,2
80	19,1	23,3	26,2	28,1	33,2	36,3	38,1	39,2	41,3

Таким образом, частота сердечных сокращений и частота дыхания животных повышаются с ростом температуры воздуха. При этом чем выше относительная влажность воздуха, тем более интенсивно изменяются эти показатели. Примечательно, что вследствие природной терморегуляции эти изменения практически не сопровождаются повышением ректальной температуры.

Для обеспечения стационарного теплового состояния животного необходимо равенство количества тепловой энергии, образующейся в организме, и теплоты, отданной в окружающую среду. При повышенной температуре воздуха тепловой баланс животного можно стабилизировать либо посредством уменьшения выработки тепловой энергии, либо увеличением теплоотдачи. По экономическим соображениям первый способ оказывается нерентабельным. Реализация второго подхода требует использования принудительного воздухообмена посредством активного вентилирования помещения.

В результате эксперимента с привлечением камеры принудительной вентиляции установлено, что при включении вентилятора и воздействии потока воздуха у коров происходит снижение частоты сердечных сокращений и частоты дыхания. При скорости воздушного потока 1 м/с, действующего на животных в течении 40 мин, снижение частоты сердечных сокращений при относительной влажности 50% и температуре 35°C в среднем составило 32,7%. В то же время при относительной влажности 80% произошло снижение частоты сердечных сокращений на 43,47%.

По соответствующим зависимостям, представленным на рисунке 2, можно сделать вывод о том, что при скорости воздуха 1 м/с и относительной влажности 50...55, 60...65, 70...75 и 80% частота сердечных сокращений приближается к нормальному значению за 15, 20, 25, 35 и более чем за 40 мин соответственно. Весьма схожий вид имеют графики снижения частоты дыхательных движений (рис. 3).

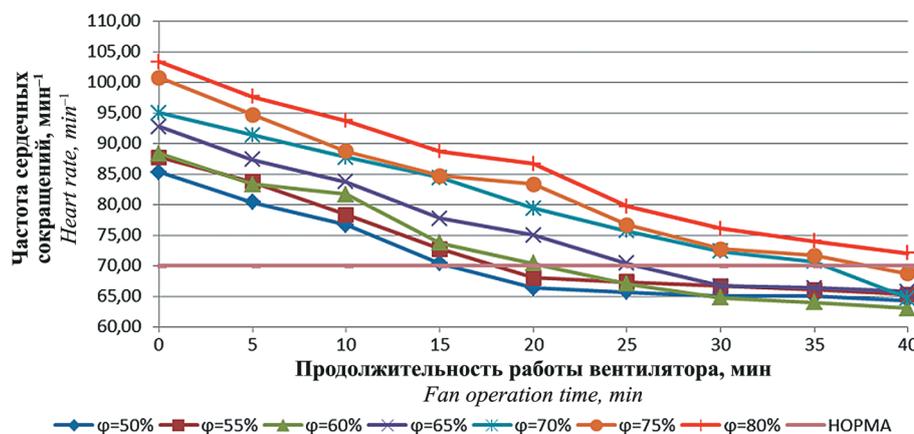


Рис. 2. Зависимость частоты сокращений сердца от продолжительности работы вентилятора при различной относительной влажности воздуха

Fig. 2. Relationship between the heart rate and the fan operation time at different values of relative air humidity

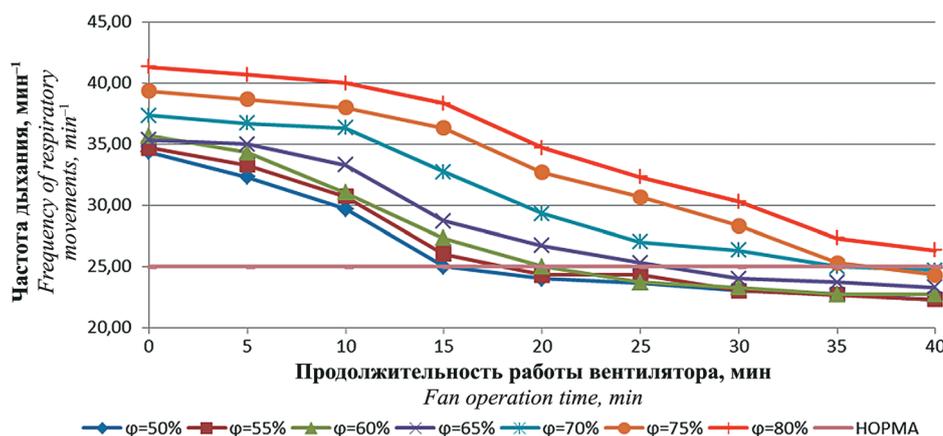


Рис. 3. Зависимость частоты дыхательных движений от продолжительности работы вентилятора при различной относительной влажности воздуха

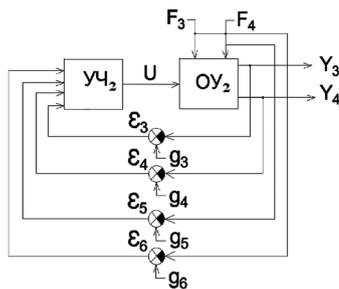
Fig. 3. Relationship between the frequency of respiratory movements and the fan operation time at different values of relative air humidity

С целью повышения эффективности управления микроклиматом предложено осуществлять формирование управляющего воздействия комбинированным способом. Функциональная схема системы комбинированного управления местной вентиляцией и параметрами микроклимата представлена на рисунке 4.

Аналогично традиционному подходу

$$\begin{cases} \varepsilon_3 = g_3 - y_3; \\ \varepsilon_4 = g_4 - y_4; \\ \varepsilon_5 = g_5 - f_4; \\ \varepsilon_6 = g_6 - f_3. \end{cases} \quad (1)$$

Первое и второе уравнения системы (1) предписывают принцип управления по отклонению параметров состояния животных, а третье и четвертое уравнения – управление по отклонению параметров микроклимата. Функциональное назначение управляющей части  $УЧ_2$  сводится к формированию управляющего воздействия, которое обобщает все четыре информационных сигнала  $\varepsilon_3, \varepsilon_4, \varepsilon_5$  и  $\varepsilon_6$ , определяя их количественную взаимосвязь с командным фактором управляющим воздействием  $u$ . Очевидно, что выбор численных значений коэффициентов взаимосвязи этих величин должен предусматривать приоритетное управление по отклонению параметров состояния животных, однако при значительных отличиях реализуемых параметров микроклимата от нормированных значений должны вступать в силу определенные ограничения.



**Рис. 4. Функциональная схема системы комбинированного управления местной вентиляцией и параметрами микроклимата:**

$ОУ_2$  (объект управления) – животное; управляемые величины  $Y_3$  (частота сердечных сокращений) и  $Y_4$  (частота дыхания); возмущающее воздействие  $F_3$  (температура) и  $F_4$  (влажность воздуха в животноводческом помещении);  $g_3$  и  $g_4$  – требуемые значения частоты сердечных сокращений и частоты дыхания;  $g_5$  и  $g_6$  – требуемые значения температуры и влажности;  $УЧ_2$  – управляющая часть;  $\varepsilon_3, \varepsilon_4, \varepsilon_5, \varepsilon_6$  – информационные сигналы

**Fig.4. Functional diagram of the combined control system for local ventilation and climate parameters:**

$ОУ_2$  (control object) – animal; controlled values:  $Y_2$  – heart rate and  $Y_4$  – respiratory rate; disturbing influence:  $F_3$  – temperature and  $F_4$  – air humidity in the livestock building;  $g_3$  and  $g_4$  – the required values of heart rate and respiratory rate;  $g_5$  and  $g_6$  – the required temperature and humidity values;  $УЧ_2$  – control part;  $\varepsilon_3, \varepsilon_4, \varepsilon_5, \varepsilon_6$  – information signals

Таким образом, контур управления по отклонению параметров микроклимата выполняет страховую функцию, обеспечивая опережающее достижение благоприятного состояния и не допуская явных нарушений зооветеринарных норм.

Для отражения количественной взаимосвязи командного фактора  $u$  с сигналами рассогласования  $\varepsilon_3$  и  $\varepsilon_4$  в статическом режиме можно рекомендовать новую функцию, представляющую собой произведение этих рассогласований, с учетом весовых коэффициентов:

$$u = \varepsilon_3 \cdot \varepsilon_4, \tag{2}$$

где  $\varepsilon_3 = k_1 \varepsilon_3$  и  $\varepsilon_4 = k_2 \varepsilon_4$ ;  $k_1$  и  $k_2$  – весовые коэффициенты, масштабирующие частоту сокращений сердца и частоту дыхания животных, учитывающие значимость каждого из них. В таком случае результирующее управляющее воздействие  $U$  должно формироваться под влиянием командного фактора  $u$  с учетом динамических характеристик реакции животных на воздействие потока воздуха, создаваемого вентиляционным оборудованием.

Как следует из рисунков 2, 3, рассматриваемые реакции являются инерционными, то есть проявляющимися с течением времени. Эти реакции обусловлены воздействием направленного потока воздуха, создаваемого вентилятором, который однократно включается в начале эксперимента и остается во включенном состоянии до его окончания, то есть в течение 40 мин. По отношению к животному как к объекту воздействия влияние воздушного потока является входной величиной, характеризующейся производительностью вентилятора  $Q_0$ . Эта входная величина может быть представлена условиями  $Q = 0$  при  $t < 0$  и  $Q = Q_0$  при  $t \geq 0$ , которые соответствуют единичному ступенчатому воздействию. В таком случае графики зависимостей частоты сердечных сокращений и частоты дыхания от времени являются кривыми переходных процессов, которые с некоторыми допущениями можно описать дифференциальными уравнениями первого порядка:

$$\begin{cases} T_{01} \frac{dy_3}{dt} + y_3 = k_{o1} u \\ T_{02} \frac{dy_4}{dt} + y_4 = k_{o2} u \end{cases}, \tag{3}$$

где  $k_{o1}$  и  $k_{o2}$  – коэффициенты передачи объекта управления по частотам сокращений сердца и дыхательных движений соответственно;  $T_{01}$  и  $T_{02}$  – постоянные времени объекта управления по частотам сокращений сердца и дыхательных движений соответственно.

Упомянутые выше допущения касаются едва заметного искривления кривых переходного процесса (рис. 2, 3), наблюдаемых при 20-минутной продолжительности работы вентилятора. Если в дальнейших исследованиях эти искривления будут признаны существенными, то для повышения точности расчетов рассматриваемые зависимости могут быть переведены в категорию функций второго порядка. Однако ввиду незначительности отмеченных искривлений эти манипуляции решающей роли играть не будут.

В операторной форме система (3) может быть представлена как

$$\begin{cases} T_{01} p y_3 + y_3 = k_{o1} u \\ T_{02} p y_4 + y_4 = k_{o2} u \end{cases},$$

где  $p$  – оператор Лапласа;  $p = \frac{d}{dt}$ .

Принимая во внимание то, что передаточные функции звеньев представляются отношением операторных представлений выходных и входных величин, запишем:

$$W_{01}(p) = \frac{k_{o1}}{T_{01} p + 1} \text{ и } W_{02}(p) = \frac{k_{o2}}{T_{02} p + 1}.$$

Обе рассматриваемые передаточные функции описывают аperiodический процесс первого порядка. Для таких функций оптимальная управляющая часть  $УЧ_2$  для обеспечения устойчивой работы с минимумом ошибки в установившемся режиме должна осуществлять пропорционально-дифференциальные законы управления по каналам частот сокращений сердца и дыхательных движений [9]:

$$W_{yч2}(P) = \frac{T_o}{K_{о\lambda\lambda\lambda\lambda} K_o} P + \frac{1}{K_{о\lambda\lambda\lambda\lambda} K_o}, \tag{4}$$

где  $K_{о\lambda\lambda\lambda\lambda}$  – допустимый коэффициент ошибки системы управления в установившемся режиме.

На практике пропорционально-дифференциальный закон управления может быть реализован изменением производительности вентиляционного оборудования в пределах от некоторого постоянного значения, определяемого вторым слагаемым выражения (4) и переменной, кратковременной составляющей в соответствии с его первым слагаемым. Это означает, что при очевидном отклонении частоты сердечных сокращений и частоты дыхания животных от нормы производительность вентилятора должна быть резко увеличена, но через непродолжительное время снижена и зафиксирована на номинальном уровне до завершения процесса стабилизации клинико-физиологических параметров. Во избежание технического усложнения управления такой результат может быть достигнут периодическим поворотом (или вращением) вентилятора относительно животных.

### Выводы

1. Превышение температуры и относительной влажности воздуха в животноводческом помещении сверх допустимых значений вызывает изменение клинико-физиологических показателей животных, сопровождаемое увеличением частоты сокращения сердца и частоты дыхания.

### Список использованных источников

1. Чикалев А.И. Зоогигиена / А.И. Чикалев, Ю.А. Юлдашбаев. М.: КУРС: ИНФРА-М, 2018. 248 с. EDN: BKVBJG.
2. Трухачев В.И. Техника и технологии в животноводстве / В.И. Трухачев, И.В. Атанов, И.В. Капустин, Д.И. Грицай. СПб.: Лань, 2022. 380 с. EDN: BZPPTN.
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: OZJAGR.
4. Тимошенко В., Музыка А., Москалёв А.И., Шматко Н. Комфорт коров – залог высокой продуктивности // Животноводство России. 2014. № 8. С. 39-41. EDN: TAOSBH.
5. Второй В.Ф., Гордеев В.В., Второй С.В., Ланцова 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: WGNWFB.
6. Бородин И.Ф., Андреев С.А. Автоматизация технологических процессов и системы автоматического управления. М.: Юрайт, 2022. 386 с. EDN: ZTANXZ.
7. Иванов Ю.Г., Понизовкин Д.А. Система принудительной вентиляции коровника // Сельский механизатор. 2015. № 8. С. 26-27. EDN: UIOZHf.
8. Иванов Ю.Г., Борулько В.Г., Понизовкин Д.А. Влияние параметров принудительной вентиляции на физиологические показатели коров при высоких значениях температуры и относительной влажности воздуха в помещении // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2015. № 4 (20). С. 192-194. EDN: VBWKSH.
9. Кирилин Н.И. Расчет оптимального алгоритма САУ сельскохозяйственными технологическими процессами // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1984. № 8. С. 46-55.

### Критерии авторства

Иванов Ю.Г., Борулько В.Г., Андреев С.А. выполнили теоретические исследования, на основании полученных результатов провели эксперимент и подготовили рукопись. Иванов Ю.Г., Борулько В.Г., Андреев С.А. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 03.10.2022

Одобрена после рецензирования 22.10.2022

Принята к публикации 01.11.2022

2. Воздействие на параметры температурно-влажностного режима в животноводческом помещении посредством управления централизованной вентиляцией характеризуется чрезмерной инерционностью и осуществляется без учета индивидуальных особенностей животных.

3. Формирование благоприятных условий содержания коров целесообразно осуществлять в соответствии с комбинированным принципом приоритетного управления местной принудительной вентиляцией по частоте сердечных сокращений и частоте дыхания животных, управления температурой и влажностью в животноводческом помещении по их отклонению от заданных значений.

4. Для формирования командного фактора для включения местной принудительной вентиляции может быть использована функция произведения масштабированных отклонений значений частот сердечных сокращений и дыхательных движений от их нормированных значений.

5. Для обеспечения устойчивого и качественного управления местной приточной вентиляцией связь управляющего воздействия с командным фактором может осуществляться в соответствии с пропорционально-дифференциальным законом, реализуемым периодическим поворотом вентиляторов.

### References

1. Chikalev A.I., Yuldashbaev Yu.A. Zoogigiena [Zoohygiene]. Moscow, COURSE: INFRA-M. 2018. 248 p. (In Rus.)
2. Trukhachev V.I., Atanov I.V., Kapustin I.V., Gritsai D.I. Machinery and technologies used in animal husbandry. St. Petersburg: Lan', 2022. 380 p. (In Rus.)
3. Martynova E.N., Yastrebova E.A. Climate formation in livestock houses under the influence of outdoor temperature. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo*. 2012; 4: 24-26. (In Rus.)
4. Timoshenko V., Muzyka A., Moskalev A.I., Shmatko N. Cow comfort as a guarantee of high productivity. *Zhivotnovodstvo Rossii*. 2014; 8: 39-41. (In Rus.)
5. Vtoriy V.F., Gordeev V.V., Vtoriy S.V., Lantsova E.O. Influence of weather conditions on the temperature and humidity conditions in the cowshed. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva*. 2016; 3(23): 67-72. (In Rus.)
6. Borodin I.F., Andreev S.A. Automation of technological processes and automatic control systems. Moscow, Yurayt, 2022. 386 p. (In Rus.)
7. Ivanov Yu.G., Ponizovkin D.A. Forced ventilation system of the cowshed. *Sel'skiy mekhanizator*. 2015; 8: 26-27. (In Rus.)
8. Ivanov Yu.G., Borulko V.G., Ponizovkin D.A. Influence of forced ventilation parameters on the physiological parameters of cows at high indoor temperatures and relative humidity. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva*. 2015; 4(20): 192-194. (In Rus.)
9. Kirilin N.I. Determining an optimal algorithm for ACS as applied to agricultural technological processes. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. 1984; 8: 46-55. (In Rus.)

### Contribution

Yu.G. Ivanov, V.G. Borulko and S.A. Andreev performed theoretical studies and, based on the results obtained, conducted the experiment and wrote the manuscript. Yu.G. Ivanov, V.G. Borulko and S.A. Andreev have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

### Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The article was received 03.10.2022

Approved after reviewing 22.10.2022

Accepted for publication 01.11.2022