

УДК 631.22:628.8/9

КИРСАНОВ ВЛАДИМИР ВЯЧЕСЛАВОВИЧ, докт. техн. наук, профессор¹

E-mail: iy.electro@timacad.ru

ФИЛОНОВ РОМАН ФЕДОРОВИЧ, канд. техн. наук, доцент¹

E-mail: filofr@yandex.ru

КОЖЕВНИКОВА НАТАЛЬЯ ГЕОРГИЕВНА, канд. техн. наук, доцент¹

E-mail: energo-ngk@mail.ru

¹ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 55, Москва, 127550, Российская Федерация

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ КОМФОРТА СОДЕРЖАНИЯ ЖИВОТНЫХ

В статье рассмотрели методологию моделирования системы комфорта содержания сельскохозяйственных животных, содержащей 4 подсистемы. Установили основные параметры, требующие регулирования в животноводческих помещениях (температура, влажность воздуха и его подвижность, содержание в нем углекислого газа, аммиака, сероводорода, концентрация пыли и наличие в воздухе микрофлоры). Показали две системы управления комфортом содержания животных: с независимыми подсистемами и единым устройством управления, определили более эффективную систему. Установили основные этапы для моделирования системы микроклимата. Определили в качестве критерия оптимизации обобщенный коэффициент эффективности содержания животных, обеспечивающий количественную оценку соответствия данной системы своему назначению и качественные показатели. Предложили алгоритм моделирования системы комфортного содержания животных, на основе которого строится программирование процесса и определяется обобщенный коэффициент эффективности содержания животных для соответствующего отрезка времени. Полученный алгоритм представляет собой циклическую структуру и определяет температуры в животноводческом помещении с учетом установленных в нем оборудования и машин. Установили последовательность расчета температурного режима. Моделирование работы отопительных устройств выполнено на основе уравнения теплового баланса в животноводческих помещениях с использованием расчетных температур входящих потоков и регламентируемых температур внутри помещения. На конечном этапе моделирования сравнительный анализ расчетного обобщенного коэффициента эффективности содержания животных и нормативного коэффициента эффективности с учетом необходимого по варьированию параметра дает возможность определить наиболее благоприятный вариант комплектования оборудования микроклимата, что позволяет рекомендовать моделирующий алгоритм системы комфорта содержания животных для анализа вероятностных характеристик функционирования системы человек-машина-животное в отношении зоотехнологической оптимизации микроклимата.

Ключевые слова: система комфорта, моделирование, системы вентиляции, отопительное оборудование, температурный режим, оптимальный микроклимат.

Продуктивность сельскохозяйственных животных виду неудовлетворительных зооигиенических условий может снизиться на 20...30%, при этом создание комфорта содержания не только продлевает хозяйственное использование животных, но и способствует повышению качества продукции. При этом создание оптимального микроклимата в животноводческом помещении является важнейшим условием и резервом увеличения производства продукции высокого качества. Кроме того, оно имеет важное значение для продления срока службы зданий и технологического оборудования, а также

улучшения условий труда обслуживающего персонала.

Цель исследований – анализ методологии моделирования системы комфорта содержания сельскохозяйственных животных.

Система комфорта содержания сельскохозяйственных животных содержит 4 подсистемы: оборудование для навозоудаления, оборудование для обеспечения воздухообмена, оборудование для теплоснабжения и освещения. Обеспечение комфорта представляет собой совокупность технических средств и объемно-планировочных решений,

направленных на поддержание физических, химических и биохимических параметров воздуха животноводческих помещений в оптимальных научно обоснованных пределах, обеспечивающих здоровье и высокую продуктивность животных по нормам ISO 5770.

Объект и методика. Основными параметрами, требующими регулирования в животноводческих помещениях, являются температура и влажность воздуха, а также его подвижность, содержание в нем углекислого газа, аммиака, сероводорода, концентрация пыли и наличие в воздухе микрофлоры. В обеспечении комфортного микроклимата животных необходимо соблюдение норм по производственным шумам и освещенности зон содержания животных и производственных участков [1, 2].

Моделирование комфорта необходимо строить на суммарной основе независимо от работающих механизмов и машин, каждый из элементов системы должен стабилизировать один параметр [3]. При обозначении и вводе параметров необходимо соблюдать принцип доминирования. Объекты (машины и механизмы), а также устройства управления обозначим M_i и U_i (рис. 1). Возможность использования единого центра управления при моделировании системы микроклимата, учитывающего взаимное влияние параметров, представляется более эффективным (рис. 2).

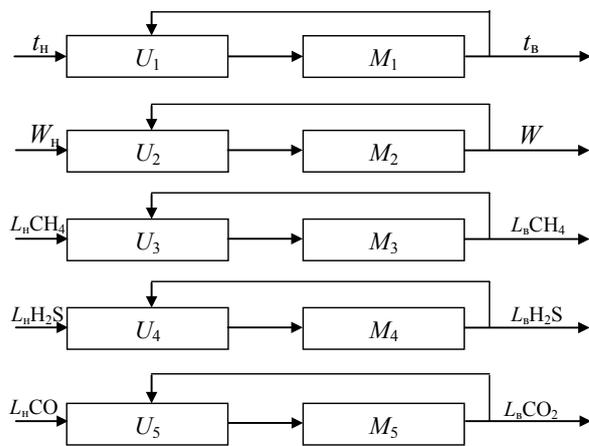


Рис. 1. Система управления комфортом содержания животных с независимыми подсистемами: t_n и t_b – температура на входе и выходе из системы, °С; W_n и W_b – влажность воздуха начальная и конечная (на выходе), %; L_nCH_4 и L_bCH_4 – содержание метана на входе и выходе, мг/м³; L_nH_2S и L_bH_2S – содержание сероводорода на выходе и входе, мг/м³; L_nCO_2 и L_bCO_2 – содержание углекислого газа на выходе и входе, л/м³

Алгоритм моделирования системы микроклимата для программирования процесса должен оптимизироваться каким-либо критерием качественной оценки [1, 4]. В качестве критерия оптимизации

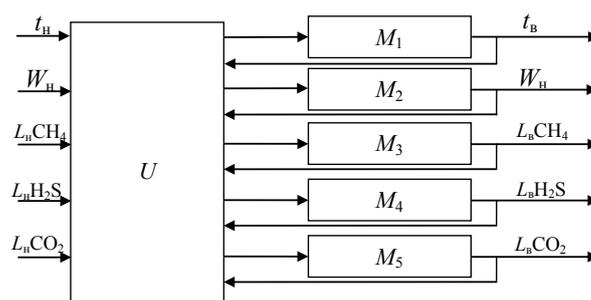


Рис. 2. Система управления комфортным содержанием с единым устройством управления

можно использовать обобщенный коэффициент эффективности содержания животных:

$$K_c = \frac{1 - (J_{opt} k_3 - J_t k_3)}{J_{opt}}$$

где J_{opt} и J_t – оптимальное и текущее значение регулируемого параметра; k_3 – коэффициент эффективности регулируемого параметра.

Обобщенный коэффициент эффективности содержания животных обеспечивает и количественную оценку соответствия данной системы своему назначению и качественные показатели [5]. Схема алгоритма, на основе которой строится программирование процесса (рис. 3), позволяет определить K_c для соответствующего отрезка времени. Данный алгоритм определяет температуры в животноводческом помещении, принимая, что оборудование и машины, уставленные на поддержание других

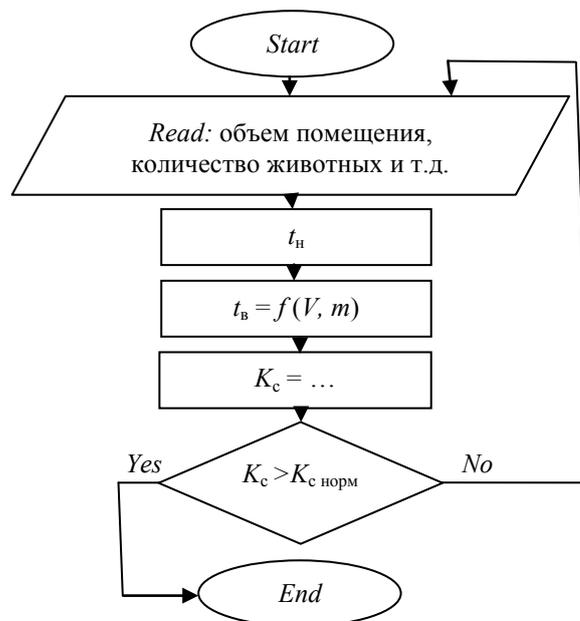


Рис. 3. Алгоритм моделируемой системы комфортного содержания животных

параметров, имеют коэффициент $K_c = 1$. Алгоритм представляет собой циклическую структуру, где начальным этапом вносятся исходные данные: продолжительность теплового и холодного периода года, площадь животноводческого помещения, количество животных в помещении, структура по половозрастным группам, системы содержания, коэффициенты использования оборудования и т.д.

Результаты и обсуждение. Расчет температурного режима осуществляется поэтапно. Вначале определяется среднесуточная температура наружного и внутреннего воздуха для теплового и холодного периода года

$$t_{\text{ср}}^{л(3)} = \frac{t_{\text{max}}^{л(3)} + t_{\text{min}}^{л(3)}}{2},$$

где $t_{\text{max}}^{л(3)}$ и $t_{\text{min}}^{л(3)}$ – максимальные и минимальные температуры в зимний и летний период взятые по модулю, °С.

Затем осуществляют расчет наружного воздуха для каждого часа текущих i -х, модельных суток [6]:

$$t_n = t_{\text{ср}} + 2t_{\text{ср}}n \sin(\alpha_i + \omega_i t_{\text{ci}}),$$

где n – коэффициент характеристики колебания температуры воздуха в течение суток; α_i – начальная фаза, позволяющая модельное время привязать к календарному; $\omega_i = 2\pi/24$; t_{ci} – модельное время суток.

Следующим этапом моделируется работа отопительных устройств на основе уравнения теплового баланса в животноводческих помещениях с использованием расчетных температур входящих потоков $t_{\text{прит}}$ и регламентируемых температур внутри помещения $t_{\text{в}}$ [4, 7].

Для различных климатических периодов года расчет осуществляют для холодного периода:

$$Q_{\text{ж}} + Q_{\text{прит}} - Q_{\text{отр}} = Q_{\text{уд}},$$

для теплового периода:

$$Q_{\text{ж}} + Q_{\text{прит}} + Q_{\text{с}} = Q_{\text{уд}},$$

где $Q_{\text{ж}}$ – количество теплоты, выделяемое животными, находящимися в помещении, кДж; $Q_{\text{прит}}$ – количество теплоты, поступающее с приточным подогретым воздухом, кДж; $Q_{\text{отр}}$ – потери теплоты через ограждающие конструкции, стены, окна, ворота, полы, кДж; $Q_{\text{уд}}$ – количество теплоты, удаляемое с воздухом, кДж; $Q_{\text{с}}$ – теплота солнечной радиации, кДж.

Количество тепла, выделяемое животными в помещении, определяется за час времени

$$Q_{\text{ж}} = k_{\text{т}} F_{\text{ж}} (t_{\text{ж}} - t_{\text{в}}) m,$$

где $k_{\text{т}}$ – коэффициент теплопередачи, кДж/м²·°С; $F_{\text{ж}}$ – площадь поверхности животного (поверхность испарения), м²; $t_{\text{ж}}$ и $t_{\text{в}}$ – температура поверхности тела животных и внутреннего воздуха в помеще-

нии, °С; m – число животных, находящихся в помещении.

Потери тепла в результате объемно-планировочных решений и применения строительных конструкций с использованием термостойких материалов составляет

$$Q_{\text{отр}} = k_{\text{к}} F (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}),$$

где $k_{\text{к}}$ – коэффициент теплопередачи строительных конструкций, кДж/м²·°С; F – площадь ограждений, м²; $t_{\text{н}}$ – наружная температура воздуха, °С.

Удаляемая из животноводческого объекта теплота

$$Q_{\text{уд}} = c L \rho (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}),$$

где c – удельная теплоемкость воздуха, кДж/кг·°С; L – часовой воздухообмен, м³/ч; ρ – плотность воздуха при $t_{\text{в}}$, кг/м³.

Современные системы вентиляции в животноводческих помещениях работают в автономном режиме, на основании данных внутреннего мониторинга помещения (независимо от других систем автоматизации и механизации), поэтому воздухообмен L – постоянная величина [8, 9].

Выполнение условия поддержания оптимального микроклимата животноводческих помещений не зависит от других систем механизации, поэтому необходимо выполнение условия

$$Q_{\text{прит}} = -k_{\text{т}} F_{\text{ж}} t_{\text{ж}} - t_{\text{н}}(k_{\text{к}} F + c L \rho) + t_{\text{в}}(k_{\text{т}} F_{\text{ж}} + k_{\text{к}} F + c L \rho).$$

Отопительное оборудование не является балансовым звеном, поэтому его работа как для установившихся, так и переходных режимов описывается дифференциальным уравнением первого порядка

$$Q_{\text{прит}}(t) = T(-k_{\text{т}} F_{\text{ж}} t_{\text{ж}} - t_{\text{н}}(k_{\text{к}} F + c L \rho) + t_{\text{в}}(k_{\text{т}} F_{\text{ж}} + k_{\text{к}} F + c L \rho))dt,$$

где T – время работы оборудования для поддержания температурного режима, ч.

Независимая переменная $t_{\text{н}}$ моделируется при каждом шаге, начиная от начального. Температура внутри помещения будет существенно зависеть от отопительного оборудования: при $Q_{\text{прит}} = 0$ – отопительное оборудование отсутствует; $Q_{\text{прит}} = const$ – оборудование выдает постоянную температуру на выходе независимо от значения температуры $t_{\text{в}}$; $Q_{\text{прит}} = time$ – отопительное оборудование работает как регулятор. При моделировании комфорта содержания животных допустимо использовать метод одношаговых решений с применением ломаной Эйлера [5, 10].

Состояние животных на конечном этапе определяется расчетом коэффициента $K_{\text{с}}$. Сравнительный анализ оценки коэффициентов $K_{\text{с}}$ и $K_{\text{с,норм}}$ на основе коэффициента энергоэффективности $K_{\text{э}}$ определяет наиболее благоприятный вариант комплектования оборудования микроклимата.

Выводы

Моделирующий алгоритм системы комфорта содержания животных применяется для анализа вероятностных характеристик функционирования системы «Человек-машина-животное» в отношении зоотехнологической оптимизации микроклимата. Определяющие параметры микроклимата и их пограничные значения позволяют программировать системы автоматизации воздухообмена.

Библиографический список

1. Мурусидзе Д.Н., Филонов Р.Ф. Электромеханизация создания микроклимата в животноводческих помещениях // Механизация и электрификация сельского хозяйства. № 10. 2003. С. 12–15.
2. Филонов Р.Ф., Мурусидзе Д.Н., Кирсанов В.В., Мирзоянц Ю.А. Механизация животноводства: Дипломное и курсовое проектирование по механизации животноводства. М.: ИНФРА-М, 2014. 427 с.
3. Иванов Ю.Г., Филонов Р.Ф., Мурусидзе Д.Н. Механизация и технология животноводства: Лабораторный практикум. М.: ИНФРА-М, 2016. 208 с.

4. Шепель В.Н. Статистическое моделирование обоснования управленческих решений на сельскохозяйственных предприятиях. М.: КолосС, 2004. 344 с.

5. Шахов В.А. Техническое обеспечение реализации потенциала молочной продуктивности коров: Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Мичуринск – Научград РФ, 2010. 533 с.

6. Иванов Ю.Г., Понизовкин Д.А. Система принудительной вентиляции коровника // Сельский механизатор. № 8. 2015. С. 26–27.

7. Рудобашта С.П. Теплотехника. М.: Издательство «Перо», 2015. 672 с.

8. Андреев С.А., Судник Ю.А., Белоусова И.В. Энергосберегающее управление влажностью воздуха на объектах АПК // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». № 2 (41). 2010. С. 7–12.

9. Зимнов С.С. Исследование динамических моделей микроклимата животноводческих помещений // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». № 2 (41). 2010. С. 32–35.

10. Исаев А.П., Кожевникова Н.Г., Ещин А.В. Гидравлика: Учебник. М.: ИНФРА-М, 2015. 420 с.

Статья поступила 24.02.2016

MODELLING CONVENIENCE SYSTEMS OF LIVESTOCK KEEPING

VLADIMIR V. KIRSANOV, DSc (Eng)¹

E-mail: iy.electro@timacad.ru

ROMAN F. FILONOV, PhD (Eng)¹

E-mail: filofr@yandex.ru

NATALIA G. KOZHEVNIKOVA, PhD (Eng)¹

E-mail: energo-ngk@mail.ru

¹Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Timiryazevskaya str., 49, Moscow, 127550, Russian Federation

The paper considers the methodology of modeling convenience system of keeping farm animals, containing four subsystems. The authors have established the basic parameters to be controlled in livestock buildings (temperature, air humidity and mobility, content of carbon dioxide, ammonia, hydrogen sulphide, dust concentration in the air, and the microflora presence). The authors have demonstrated two animal convenience control systems: with independent subsystems and single control unit, having identified a more efficient system. They have also established the main stages of modeling a climate control system and identified as the optimization criterion a generalized coefficient of animal keeping efficiency, which provides a quantitative assessment of the system correspondence to its purpose and quality indicators. The authors suggest an algorithm of designing convenient livestock housing system modeling, serving as a basis for the process programming and determining the generalized coefficient of animal welfare efficiency for the appropriate time period. The resulting algorithm is a cyclic structure determining the temperature range in the livestock housing with account of machines and equipment employed there. The authors have found the sequence of calculating the temperature mode. The operation of heating devices has been simulated on the basis of the heat balance equation for animal housings by using the estimated temperature of incoming flows and normative indoor temperatures. At the final stage of modeling a comparative analysis of the design of the generalized efficiency coefficient of animal welfare and the normative efficiency ratio with respect to necessarily varying parameters makes it possible to determine the most

favorable option of the microclimate equipment configuration, which allows recommending a modeling algorithm for animal keeping convenience systems for analyzing probability characteristics of the functioning of the system man-machine-animal in terms of livestock breeding microclimate optimization.

Key words: convenience system, modeling, ventilation systems, heating equipment, temperature control, optimal microclimate.

References

1. Murusidze D.N., Filonov R.F. Elektromekhanizatsiya sozdaniya mikroklimate v zhitovnovodcheskikh pomeshcheniyakh [Electromechanical means of controlling microclimate in livestock buildings]. M.: Farm Mechanization and Power Supply. No 10, 2003.
2. Filonov R.F., Murusidze D.N., Kirsanov V.V., Mirzoyants Yu.A. Mekhanizatsiya zhitovnovodstva: Diplomnoe i kursovoe proektirovanie po mekhanizatsii zhitovnovodstva [Mechanization of animal husbandry: Diploma and course design projects on the mechanization of animal husbandry]. M.: INFRA-M, 2014. urusidze D.N., Kirsanov V.V., Mirzoyants Y
3. Ivanov Yu.G., Filonov R.F., Murusidze D.N. Mekhanizatsiya i tekhnologiya zhitovnovodstva: Laboratornyy praktikum [Mechanization and technology of animal husbandry: Laboratory workshop]. M.: INFRA-M, 2016.
4. Shepel' V.N. Statisticheskoe modelirovanie obosnovaniya upravlencheskikh resheniy na sel'skokhozyaystvennykh predpriyatiyakh [Statistical modeling of management decisions in agricultural enterprises]. M. ColosS, 2004. 344 p.
5. Shakhov V.A. Tekhnicheskoe obespechenie realizatsii potentsiala molochnoy produktivnosti korov: Dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni doktora tekhnicheskikh nauk [Technical support for the implementation of potential milk productivity of cows. DSc (Eng) thesis]. Michurinsk- RF Naukograd, 2010. 533 p.
6. Ivanov Yu.G., Ponizovkin D.A. Sistema prinuditel'noy ventilyatsii korovnika [System of cowshed forced ventilation]. M.: Sel'skiy mekhanizator [Farm Mechanical Engineer]. No 8, 2015.
7. Rudobashta S.P. Teplotekhnika [Heat Engineering]. M.: Pero-print, 2015.
8. Andreyev S.A., Sudnik Yu.A., Belousova I.V. Energoberegayushchee upravlenie vlazhnost'yu vozdukh na ob#ektakh APK [Energy saving control of humidity in farm sites] / S.A. Andreyev, Yu.A. Sudnik, I.V. Belousova // Herald of FSEE HPE MSAU. Agricultural Engineering. 2010. No 2(41). Pp. 7–12.
9. Zimnov S.S. Issledovanie dinamicheskikh modeley mikroklimate zhitovnovodcheskikh pomeshcheniy [Studying dynamic microclimate models of livestock premises] / S.S. Zimnov // Herald of FSEE HPE MSAU. Agricultural Engineering. 2010. No 2(41). Pp. 32–35.
10. Isayev A.P., Kozhevnikova N.G., Yeshchin A.V. Gidravlika: Uchebnik [Hydraulics: Textbook]. M.: INFRA-M, 2015.

Received on February 24, 2016

УДК 631.86:631.15

КАЧАНОВА ЛЮДМИЛА СЕРГЕЕВНА, канд. техн. наук, доцент

E-mail: kachanovakls@rambler.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127550, Российская Федерация

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ОБОСНОВАНИЯ ВЫБОРА РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ

Для повышения уровня органического обеспечения сельскохозяйственных угодий следует обосновать выбор ресурсосберегающей технологии производства и использования органических удобрений. Целью исследования выступает разработка средств обоснования выбора ресурсосберегающей технологии производства и применения удобрений и апробация их с использованием реальных данных хозяйствующего субъекта. Разработана многокритериальная модель обоснования выбора ресурсосберегающих технологий переработки навоза в органические удобрения, в состав которой вошли 5 групп ограничений. В качестве