



УДК 697.1:631.223.6

М. В. БОДРОВ, д-р техн. наук, зав. кафедрой отопления и вентиляции;
А. Е. РУИН, ассистент кафедры отопления и вентиляции;
И. П. ГРИМАЛОВСКАЯ, канд. техн. наук, доц. кафедры отопления и
вентиляции; А. А. СМЫКОВ, канд. техн. наук, доц. кафедры отопления и
вентиляции

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕПЛОВОГО КОМФОРТА В ПОМЕЩЕНИЯХ СВИНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».

Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65.

Тел.: (831) 430-54-85; эл. почта: tes84@inbox.ru

Ключевые слова: инфракрасное излучение, второе условие комфортности, лучистое отопление, производственные сельскохозяйственные здания, параметры микроклимата.

В статье приведены полученные авторами осредненные данные по суточным колебаниям температуры и относительной влажности наружного воздуха для переходного и холодного периодов года. Определены основные аналитические и графические зависимости по ограничению теплового потока от нагретых поверхностей (второе условие комфортности) для основных групп мясного свиноводства.

Введение

Одной из основных задач поддержания микроклимата в производственных свиноводческих предприятиях является обеспечение комфортных условий воздушно-тепловой среды для животных. При условиях отличных от комфортных параметров микроклимата и резком изменении состояния воздушно-тепловой среды у животных наблюдается тепловой стресс, который ведет за собой следующие негативные последствия: снижение иммунитета, увеличение падежа молодняка молочных поросят, ухудшение качества мясной продукции, уменьшение суточного и недельного привеса (или его полное отсутствие) при повышенном расходе корма. Данные факторы в конечном итоге приводят к общему значительному снижению рентабельности свиноводческого производства в целом [1–3].

Комфортные параметры микроклимата характеризуются отсутствием перегрева или переохлаждения тела выращиваемого животного, поддержание которых невозможно за счет биологических тепловыделений при постоянном изменении параметров наружного воздуха. На рис. 1 представлены полученные авторами осредненные суточные колебания температуры (*а*) и относительной влажности (*б, в*) в холодный и переходный период года для г. Нижнего Новгорода за 2024 год. Таким образом, нельзя утверждать, что животноводческие помещения (в частности, свиноводческие комплексы) являются полностью автономными и не нуждаются в искусственно вырабатываемой теплоте извне.

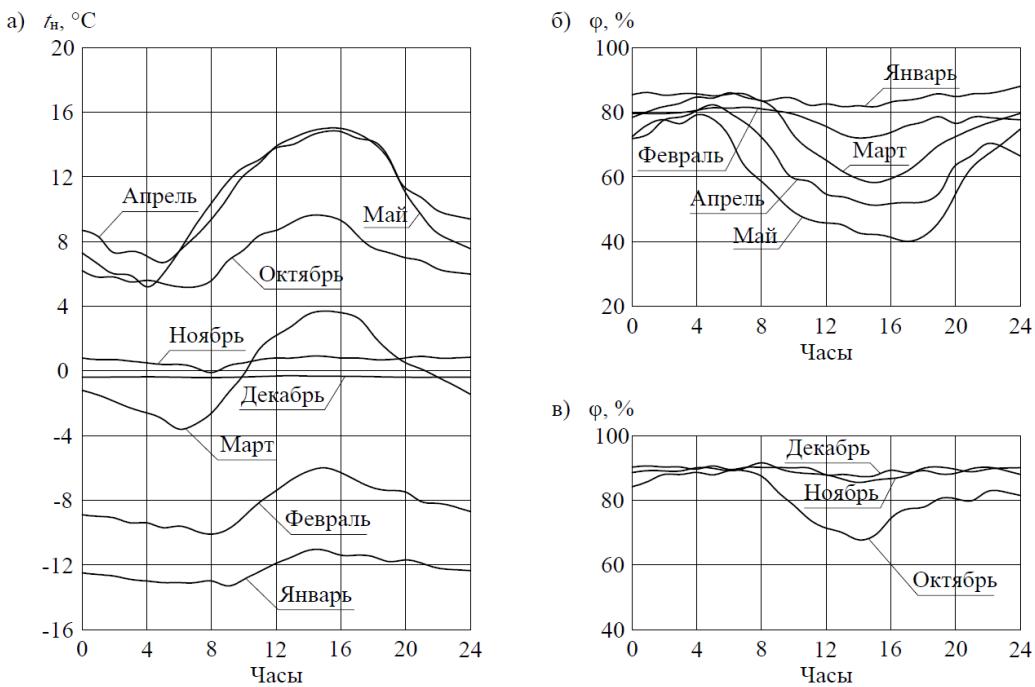


Рис. 1. Осредненные суточные колебания температуры (а) и относительной влажности (б, в) в холодный и переходный периоды года для г. Нижнего Новгорода за 2024 год

Материалы и методы

Авторами предлагается оборудование свиноводческих предприятий низкоинерционными системами отопления для поддержания расчетных параметров микроклимата в холодный и переходный периоды года, а также своевременного реагирования системы на резкие изменения климатических параметров наружного воздуха [4, 5]. Наиболее оптимальным и энергоэффективным решением является применение низкотемпературных систем лучистого отопления на базе водяных инфракрасных излучателей [6, 7]. Основным отличием предлагаемой системы отопления является применение в качестве греющих элементов (отопительных приборов) монолитных профилей, изготовленных из инновационного анодированного сплава алюминия AlMgSi0,5.

В качестве теплоносителя в системе лучистого отопления применяется теплофикационная горячая вода и различные не коррозионно-активные водяные растворы [8–10].

Для аналитической оценки температурной обстановки отапливаемого помещения применяют уравнения первого и второго условий комфорта. Расчет и решение первого условия комфорта для помещений содержания свиней в холодный период года приводилось авторами в ранее опубликованной научной работе [11].

Второе условие комфорта в большей степени ограничивает применение систем лучистого отопления в обслуживаемом помещении, так как контролирует интенсивность теплообмена животного при нахождении его вблизи нагретой поверхности. В этом случае интенсивность лучистого теплообмена как наиболее чувствительной к излучению участка тела животного является наиболее весомой величиной [5]. Так, при расположении нагретого элемента над животным,



уравнение лучистой составляющей теплообмена на поверхности бесконечно малого участка тела животного в системе «животное» – «помещение» и «животное» – «отопительный профиль» будет иметь вид:

$$q_{\text{ж}}^{\text{л}} = C \cdot \varphi_{\text{ж-п}} \cdot b_{\text{ж-п}} \cdot (\tau_{\text{ж}} - \tau_{\text{п}}) + C \cdot (1 - \varphi_{\text{ж-п}}) \cdot b_{\text{ж-в.п}} \cdot (\tau_{\text{ж}} - \tau_{\text{в.п}}), \quad (1)$$

где $q_{\text{ж}}^{\text{л}}$ – минимальная теплоотдача животного излучением, определяется как количество теплоты, расходуемое на внутренние физиологические жизненно необходимые процессы, Вт/м²;

C – приведенный коэффициент излучения в рассматриваемой системе теплообмена, Вт/(м²·К⁴);

$\varphi_{\text{ж-п}}$ – угловой коэффициент лучистого теплообмена со стороны бесконечно малого участка тела животного в сторону нагретой поверхности;

b – расчетный температурный коэффициент, определяемый по эмпирическим nomogrammam [12, 13];

$\tau_{\text{ж}}$ – температура кожного покрова животного, °C;

$\tau_{\text{п}}, \tau_{\text{в.п}}$ – температуры нагретого (охлажденного) профиля и внутренних поверхностей помещения, соответственно, °C.

Результаты исследований

Для хряков-производителей уравнение (1) можно записать в следующем виде:

$$q_{\text{ж}}^{\text{л}} = 6,4 \cdot \varphi \cdot (32,5 - \tau_{\text{п}}) + 80,8 \cdot (1 - \varphi), \quad (2)$$

где $\tau_{\text{п}}$ – температура нагретого отопительного профиля, °C.

Полученное уравнение (2) можно записать относительно температуры $\tau_{\text{п}}$, тогда уравнение будет иметь вид:

$$\tau_{\text{п}} \leq 19,9 + \frac{80,8 - q_{\text{ж}}^{\text{л}}}{6,4 \cdot \varphi}, \text{ °C.} \quad (3)$$

Полученные уравнения второго условия комфортности для других различных групп животных приведены в таблице.

Таблица

Уравнения второго условия комфортности для животных

Группа животных	Уравнение второго условия комфортности
Матки холостые и супоростные	$\tau_{\text{п}} \leq 20,0 + \frac{84,5 - q_{\text{ж}}^{\text{л}}}{6,4 \cdot \varphi}, \text{ °C}$
Матки тяжелосупоростные	$\tau_{\text{п}} \leq 19,9 + \frac{80,8 - q_{\text{ж}}^{\text{л}}}{6,4 \cdot \varphi}, \text{ °C}$
Поросыта отъемыши	$\tau_{\text{п}} \leq 24,1 + \frac{97,6 - q_{\text{ж}}^{\text{л}}}{6,5 \cdot \varphi}, \text{ °C}$
Ремонтный молодняк	$\tau_{\text{п}} \leq 22,4 + \frac{62,3 - q_{\text{ж}}^{\text{л}}}{6,4 \cdot \varphi}, \text{ °C}$
Свиньи на откорме	$\tau_{\text{п}} \leq 21,2 + \frac{69,0 - q_{\text{ж}}^{\text{л}}}{6,4 \cdot \varphi}, \text{ °C}$



Полученные зависимости допустимых температур нагретых поверхностей от углового коэффициента лучистого теплообмена для различных групп животных можно представить в графическом виде (рис. 2). При этом область допустимых температур нагретых поверхностей будет находиться под кривой, соответствующей конкретной группе животных.

При значениях температуры нагретой поверхности выше полученных графиков будет наблюдаться локальный перегрев животных, что также может вызвать тепловой стресс [12, 13].

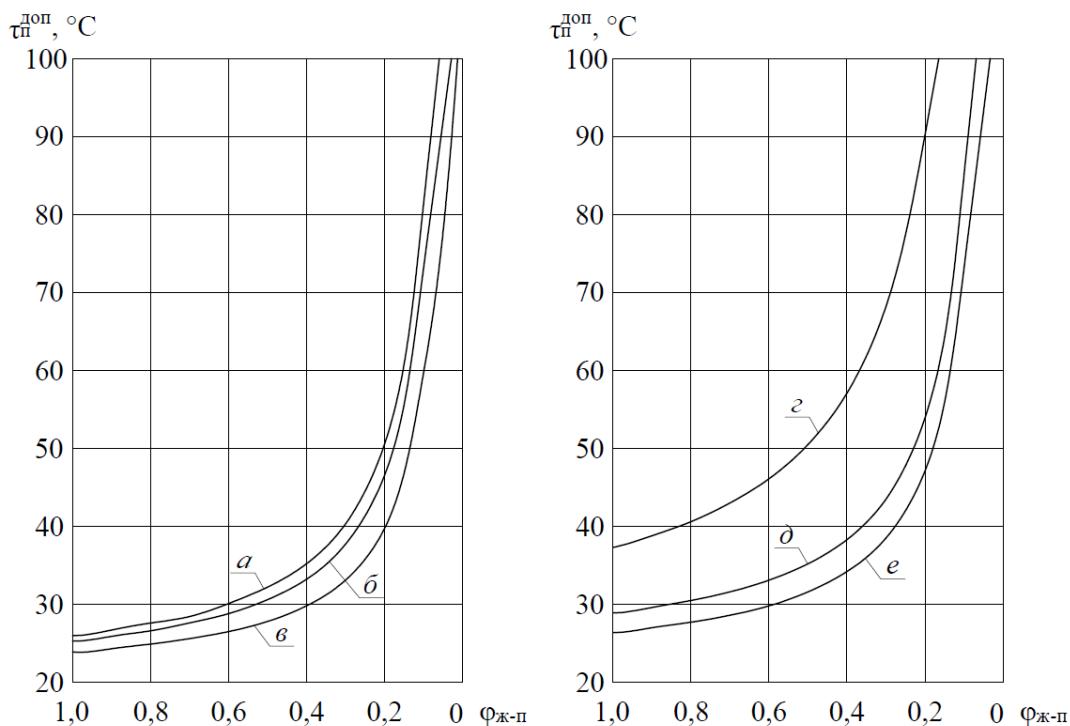


Рис. 2. Графические зависимости второго условия комфортности для: *a* – хряков производителей, *b* – маток холостых и супоростных, *c* – маток тяжелосупоростных, *д* – поросят отъемышей, *д* – ремонтного молодняка, *e* – свиней на откорме

Заключение

Проведенные авторами исследования по определению области допустимых температур нагретых поверхностей в свиноводческих зданиях позволяют моделировать и обеспечивать оптимальные условия для выращиваемых свиней, которые будут выполнять все предъявляемые санитарно-гигиенические, технологические, экономические и ветеринарные требования. Выполнение этих требований приведет к повышению качества и количества выпускаемой мясной продукции и уменьшению процента падежа молодняка во время первых 6-ти месяцев жизни.

Полученные авторами результаты помогут обеспечить правильный выбор и проверку уже принятых и реализованных проектных решений по устройству систем лучистого отопления в свиноводческих комплексах.

В дальнейшем планируется продолжение исследований условий комфортности в области систем радиационного охлаждения в теплый период



года, с целью обеспечения параметров микроклимата в круглогодичном цикле эксплуатации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Liu, L. Effects of heat stress on posture transitions and reproductive performance of primiparous sows during late gestation / L. Liu, M. Tai, W. Yao, R. Zhao, M. Shen // Journal of Thermal Biology. – 2021. – Volume 96. – DOI 10.1016/j.jtherbio.2020.102828.
2. Effects of heat stress on posture transitions and reproductive performance of primiparous sows during late gestation / T. Huang, G. Zhang, P. Brandt, B. Bjerg, P. Pedersen, L. Rong // Biosystems Engineering. – 2022. – Volume 220. – P. 19–38. – DOI 10.1016/j.biosystemseng.2022.05.015.
3. Баланин, В. И. Зоогигиенический контроль микроклимата в животноводческих и птицеводческих помещениях / В. И. Баланин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ленинград : Агропромиздат, 1988. – 144 с. – (Б-чка практ. вет. врача). – ISBN 5-10-000057-0.
4. Бодров, М. В. Применение систем газового лучистого отопления в свиноводческих комплексах / М. В. Бодров, А. А. Смыков, А. Е. Руин // Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. – 2025. – № 6. – С. 8–13. – EDN SIZMOM.
5. Кузьмичев, А. В. Сравнительный анализ методов расчета лучистого обогрева молодняка в животноводческих помещениях / А. В. Кузьмичев, Д. А. Тихомиров, А. В. Хименко. – Текст : электронный // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2022. – Том 16, № 1. – С. 10–18. – DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-1-10-18.
6. Radhi, S. S. Sustainable heating system by infrared radiators / S. S. Radhi, S. Z. Al-Khafaji, M. W. Falah // Sustainable Engineering and Innovation. – 2022. – Volume 4, № 1. – P. 42–52. – DOI 10.37868/hsd.v4i1.82.
7. Numerical simulation of heat transfer in a large room with a working gas infrared emitter / B. V. Borisov, G. V. Kuznetsov, V. I. Maksimov [el. al.] // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – Volume 1675. – DOI 10.1088/1742-6596/1675/1/012074.
8. Бодров, М. В. Испытание инфракрасных излучателей систем лучистого отопления с промежуточным теплоносителем / М. В. Бодров, А. А. Смыков, А. Е. Руин // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2025. – № 1. – С. 77–83. – EDN XQPBEU.
9. Бодров, М. В. Экспериментальное исследование плотности теплового потока водяных инфракрасных излучателей / М. В. Бодров, А. Е. Руин, А. А. Смыков. – Текст : электронный // Региональная архитектура и строительство. – 2025. – № 3 (64). – С. 126–134. – DOI 10.54734/20722958_2025_3_126.
10. Исследование теплотехнических характеристик водяных инфракрасных излучателей для энергоэффективных систем лучистого отопления / М. В. Бодров, Д. А. Кузнецов, А. А. Смыков, А. Е. Руин // Академия. Архитектура и строительство. – 2023, № 2. – С. 160–167. – EDN UDCIRF.
11. Бодров, М. В. Создание теплового режима помещений содержания свиней в круглогодичном цикле эксплуатации / М. В. Бодров, А. Е. Руин, А. Ю. Юланова // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2024. – № 3. – С. 54–60. – EDN AIWIRD.
12. Егиазаров, А. Г. Отопление и вентиляция зданий и сооружений сельскохозяйственных комплексов / А. Г. Егиазаров. – Москва : Стройиздат, 1981.–239 с. – (Сельскому строителю).
13. Егиазаров, А. Г. Отопление и вентиляция сельскохозяйственных зданий : (Расчет и проектирование) / А. Г. Егиазаров, О. Я. Кокорин, Ю. М. Прыгунов. – Киев : Будівельник, 1976. – 223 с.



BODROV Mikhail Valerevich, doctor of technical sciences, professor, holder of the chair of heating and ventilation; RUIN Aleksey Evgenevich, assistant of the chair of heating and ventilation; GRIMALOVSKAYA Irina Pravlovna, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of heating and ventilation; SMYKOV Aleksandr Anatolevich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of heating and ventilation

PROVIDING THERMAL COMFORT IN THE PREMISES OF PIG BREEDING COMPLEXES

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.

65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia.

Tel.: (831) 430-54-92; e-mail: tes84@inbox.ru

Key words: infrared radiation, the second comfort condition, radiant heating, industrial agricultural buildings, microclimate parameters.

The article presents average data on daily fluctuations in outdoor temperature and relative humidity for the transitional and cold periods of the year. The main dependences on the limitation of heat flow from heated surfaces (the second comfort condition) for the main groups of pigs are determined, and the results obtained are presented graphically.

REFERENCES

1. Liu L., Tai M., Yao W. [et al.] Effects of heat stress on posture transitions and reproductive performance of primiparous sows during late gestation. *Journal of Thermal Biology*. Vol. 96. 2021. DOI 10.1016/j.jtherbio.2020.102828.
2. Huang T., Zhang G., Brandt P. [et al.] Effects of heat stress on posture transitions and reproductive performance of primiparous sows during late gestation. *Biosystems Engineering*. Vol. 220. 2022. P. 19–38. DOI 10.1016/j.biosystemseng.2022.05.015.
3. Balanin V. I. Zoogigienicheskiy kontrol mikroklimata v zhivotnovodcheskikh i ptitsevodcheskikh pomeshcheniyakh [Zoohygienic control of the microclimate in livestock and poultry facilities]. Leningrad, Agropromizdat, 1988, 144 p.
4. Bodrov M. V., Smykov A. A., Ruin A. E. Primenenie sistem gazovogo luchistogo otopleniya v svinovodcheskikh kompleksakh [Application of gas radiant heating systems in pig breeding complexes]. Ventlyatsiya. otopleniye. konditsionirovaniye vozdukh. teplosnabzheniye i stroitel'naya teplofizika [Journal Ventilation, heating, air conditioning, heat supply and building thermophysics]. 2025, № 6, P. 66–70. EDN: SIZMOM.
5. Kuzmichev A. V., Tikhomirov D. A., Khimenko A. V. Sravnitelny analiz metodov rascheta luchistogo obogreva molodnyaka v zhivotnovodcheskikh pomeshcheniyakh [Comparative analysis of methods for calculating radiant heating of young animals in livestock facilities]. Selskokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii [Agricultural machinery and technology]. 2022, Vol. 16, № 1, P. 10–18. DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-1-10-18.
6. Radhi S. S., Al-Khafaji S. Z., Falah M. W. Sustainable heating system by infrared radiators. *Sustainable Engineering and Innovation*. Vol. 4, 2022, № 1. P. 42–52. DOI 10.37868/hsd.v4i1.82.
7. Borisov B. V., Kuznetsov G. V., Maksimov V. I. [et al.] Numerical simulation of heat transfer in a large room with a working gas infrared emitter. *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 1675, 2020. DOI:10.1088/1742-6596/1675/1/012074.
8. Bodrov M. V., Smykov A. A., Ruin A. E. Ispytaniye infrakrasnykh izluchateley sistem luchistogo otopleniya s promezhutochnym teplonositelem [Testing of infrared radiators of



radiant heating systems with an intermediate heat carrier]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. NNGASU, Nizhny Novgorod, 2025, № 1, P. 77–83. EDN: XPQBEU.

9. Bodrov M. V., Smykov A. A., Ruin A. E. Eksperimentalnoye issledovaniye plotnosti teplovogo potoka vodyanykh infrakrasnykh izluchateley [Experimental study of the heat flux density of water infrared radiators]. Regionalnaya arkitektura i stroitelstvo [Regional architecture and construction]. 2025, № 3 (64), P. 126–134. DOI 10.54734/20722958_2025_3_126.

10. Bodrov M. V., Kuznecov D. A., Smykov A. A., Ruin A. E. Issledovanie teplotekhnicheskikh kharakteristik vodyanykh infrakrasnykh izluchateley dlya energoeffektivnykh sistem luchistogo otopleniya [Investigation of thermal engineering characteristics of water infrared radiators for energy-efficient radiant heating systems]. Akademiya. Arhitektura i stroitelstvo [Academy. Architecture and Construction]. 2023, № 2, P. 160–167. EDN: UDCIRF.

11. Bodrov M. V., Yulanova A. F., Ruin A. E. Sozdaniye teplovogo rezhima pomeshcheniy soderzhaniya sviney v kruglogodichnom tsikle ekspluatatsii [Creation of a thermal regime for pig housing in a year-round operation cycle]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. NNGASU, Nizhny Novgorod, 2024, № 3, P. 54–60. EDN: AIWIRD.

12. Egiazarov A. G. Otoplenie i ventilyatsiya zdaniy i sooruzheniy sel'skokhozyaystvennykh kompleksov [Heating and Ventilation of Buildings and Structures of Agricultural Complexes]. Moscow, Stroyizdat, 1981, 239 p.

13. Egiazarov A. G., Kokorin O. Ya., Prygunov Yu. M. Otoplenie i ventilyatsiya sel'skokhozyaystvennykh zdaniy [Heating and Ventilation of Agricultural Buildings]. Kiev, Budivelnik, 1976, 223 p.

© М. В. Бодров, А. Е. Рuin, И. П. Гриналовская, А. А. Смыков, 2025

Получено: 05.11.2025 г.