



УДК 697.1:621.565.83

М. В. БОДРОВ, д-р техн. наук, зав. кафедрой отопления и вентиляции;
А. Е. РУИН, ассистент кафедры отопления и вентиляции; **А. Д. ЕЛИЗАРОВ**,
магистрант кафедры отопления и вентиляции; **А. А. КУДРЯВЦЕВА**,
магистрант кафедры отопления и вентиляции

СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ СВИНОВОДЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПРИ ВНЕДРЕНИИ СИСТЕМ РАДИАЦИОННОГО ОТОПЛЕНИЯ И ОХЛАЖДЕНИЯ

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: лучистое отопление, водяное охлаждение, теплофизика, энергосбережение, энергоэффективность, радиационное охлаждение, животноводство.

В статье приводятся данные аналитического расчета фактического среднесуточного привеса массы тела свиней и среднесуточного расхода корма на 1 кг привеса тела. Приведены расчетные данные по фактическому энергопотреблению (потребность в теплоте и искусственном холоде) свиноводческого корпуса, оборудованного традиционными и инновационными радиационными системами водяного отопления и охлаждения в круглогодичном цикле эксплуатации.

Введение

Применение новых энергосберегающих технологий в настоящее время является приоритетным направлением развития производственных мощностей сельскохозяйственных (животноводство, птицеводство и т. д.) предприятий. Снижение энергопотребления зданий напрямую влияет на конечную себестоимость выпускаемой предприятием продукции, однако в производственных помещениях, предназначенных для размещения животных, необходимо поддерживать оптимальные параметры микроклимата. При низких температурах наружного воздуха биологические тепловыделения от животных не в полной мере могут покрыть дефицит теплоты в помещении, что приводит к заниженным температурам внутреннего воздуха. В этом случае животные будут потреблять больший объем кормов, но значительная часть энергетических веществ будет расходоваться на систему терморегуляции животного (поддержание температуры тела), а не на рост привеса массы тела.

В условиях летнего перегрева помещений и постоянно действующих биологических тепловыделений температура внутреннего воздуха в помещениях содержания животных нередко поднимается выше требуемых (допустимых) значений. В этом случае у животных пропадает аппетит, значительно снижается объем потребляемого корма, в то же время привес массы тела снижается до минимума, а в некоторых случаях перегрев организма может привести и к потере веса [1–3].

Для поддержания комфортных микроклиматических параметров, а также компенсации дефицита (в холодный период года) и профицита (в теплый период

года) теплоты, в животноводческих помещениях необходимо устройство дополнительных систем отопления и охлаждения. Авторами предлагается внедрять инновационные водяные системы радиационного отопления и охлаждения реверсивного действия, разработанные в ННГАСУ. Предлагаемый тип систем отличается уникальной технологической особенностью: фактически смонтированная водяная система лучистого отопления может быть использована как система лучистого охлаждения путем замены теплоносителя (нагретой воды) на охлажденную воду и наоборот. Это позволяет снизить к минимуму капитальные вложения в создание систем обеспечения параметров микроклимата круглогодичного типа действия. Помимо этого, системы радиационного отопления и охлаждения обладают способностью поддерживать более комфортные условия микроклимата в помещении при более низкой (система отопления) или высокой (система охлаждения) температуре внутреннего воздуха [4–6]. В данной статье авторами будут рассмотрены и приведены результаты расчета способов снижения энергопотребления свиноводческого корпуса при внедрении предлагаемой реверсивной системы.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования был принят свиноводческий корпус по откорму свиней (рис. 1) размерами в плане 21х114 м и высотой 3,1 м, расположенный в Нижегородской области. Согласно нормативной документации РД-АПК 1.10.02.04-12 и ВНТП 2-96 в холодный период года температура внутреннего воздуха t_v должна поддерживаться в пределах 16 °С, в теплый период года не выше, чем 25 °С.

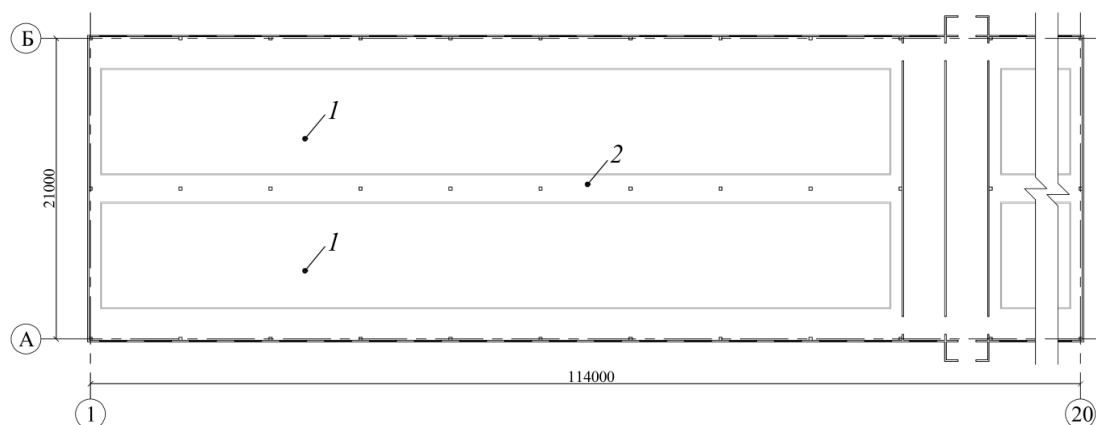


Рис. 1. Общий вид исследуемого свиноводческого корпуса:

1 – помещения содержания животных; 2 – технологические проезды

Особенностью теплотехнического расчета производственных сельскохозяйственных зданий является применение научно-обоснованного методологического подхода, который основывается на следующем положении: при наличии в помещении содержания свиней в холодный период года постоянно действующих тепловыделений от животных Q_6 , теплофизические характеристики наружных ограждающих конструкций должны обеспечить такой тепловой поток через них, чтобы предотвратить переохлаждение при расчетной температуре наружного воздуха t_n [7, 8].



Такая трактовка теплового баланса позволяет принять удельный нормируемый тепловой поток q_6^H , Вт/м², через наружные ограждающие конструкции за основу нормирования требуемого сопротивления теплопередачи R_0^{TP} , (м²·°C)/Вт:

$$R_0^{TP} = \frac{n \cdot (t_B - t_H)}{q_6^H}; \quad (1)$$

где n – безразмерный коэффициент, учитывающий уменьшение фактической разности температуры для ограждающих конструкций, которые отделяют отапливаемые помещения от неотапливаемых и не соприкасаются с наружным воздухом;

$F = F_{ст} + F_{покp}$ – суммарная площадь наружных ограждающих конструкций (наружных стен и покрытия, соответственно), м²;

m – безразмерный коэффициент, учитывающий долю тепловых потерь через пол по грунту, подземные или обвалованные части зданий [7–9].

В тепловом балансе свиноводческого здания для холодного или теплого периода года основной составляющей является количество теплоты $Q_{наг(ох)}$, Вт, необходимой для нагрева или охлаждения минимально необходимого количества приточного воздуха $G_{пр}^{min}$, кг/ч. Таким образом, максимальные затраты теплоты на нагрев приточного воздуха в холодный период года составят:

$$Q_{наг} = c_B \cdot G_{пр}^{min} \cdot (t_H^P - t_H); \quad (2)$$

а на охлаждение приточного воздуха в теплый период:

$$Q_{охл} = c_B \cdot G_{пр}^{min} \cdot (t_H - t_H^P), \quad (3)$$

где c_B – удельная теплоемкость воздуха, кДж/(кг·°C);

t_H – расчетная температура наружного воздуха, °C;

t_H^P – условная наружная температура воздуха, начиная с которой будет необходим подогрев или охлаждение для соблюдения теплового баланса помещения, °C, определяемая по формуле (4):

$$t_H^P = t_B + \frac{Q_6}{\frac{F}{R_0^{TP} + c_B \cdot G_{пр}^{min}}}, \quad (4)$$

где t_B – температура внутреннего воздуха в рассматриваемом помещении свиноводческого комплекса, °C.

Результаты исследований

Авторами был проведен аналитический расчет фактического среднесуточного привеса П, кг, и среднесуточного расхода кормов К, кг, на 1 голову в свиноводческом корпусе, не оснащенных системами компенсации дефицита и профицита теплоты, для временного промежутка в один год (2025 г.).

Результаты исследований приведены на рис. 2.

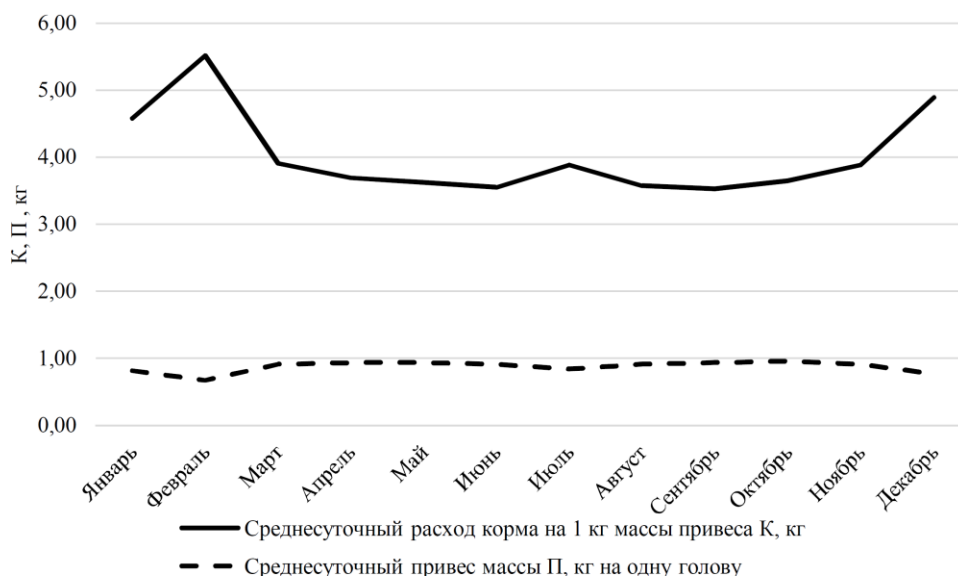


Рис. 2. Среднесуточный расход корма и привес массы за 2025 год для свиноводческого корпуса, не оборудованного системами компенсации дефицита и профицита теплоты

Анализ данных на рис. 2 позволяет сделать вывод, что среднесуточный привес массы животного практически не изменялся, в то время как расход корма, потребляемого животным для получения 1 кг привеса, изменялся в диапазоне между 3,6...5,5 кг. При этом, оптимальным расходом потребляемого корма животным на 1 кг привеса массы тела является значение в 3,5 кг. Этот факт говорит о перерасходе корма, а также росте себестоимости и дополнительных технологических и финансовых издержек производства в холодный период года [10, 11].

Также был проведен сравнительный расчет фактического энергопотребления свиноводческого корпуса, оборудованного традиционными воздушно-конвективными и инновационными радиационными системами водяного отопления и охлаждения за тот же временной промежуток. Результаты проведенного расчета приведены в таблице.

Таблица

Среднечасовая потребность в тепловой энергии и искусственном холоде для исследуемого свиноводческого корпуса

Наименование	месяцы											
	январь	фев.	март	апр.	май	июнь	июль	авг.	сент.	окт.	ноя.	дек.
Традиционные воздушно-конвективные системы отопления и охлаждения												
$Q_{\text{наг}}, \text{ кВт}$	364,8	569,2	164,5	86,6	9,7	-	-	-	12,2	32,1	149,0	416,6
$Q_{\text{ох}}, \text{ кВт}$	-	-	1,2	69,9	181,8	250,3	534,6	296,3	99,9	3,3	-	-
Радиационные системы отопления и охлаждения												
$Q_{\text{наг}}, \text{ кВт}$	180,5	381,7	46,1	19,6	0,4	-	-	-	2,6	4,2	42,6	232,4
$Q_{\text{ох}}, \text{ кВт}$	-	-	-	23,8	86,0	81,3	299,9	100,2	24,5	-	-	-



Заключение

Полученные данные позволяют авторам сделать вывод, что свиноводческие комплексы, расположенные в Приволжском федеральном округе, необходимо оборудовать системами компенсации дефицита и профицита теплоты, т. к. биологические тепловыделения от животных не способны в полной мере покрыть потребность в теплоте в холодный период года. Это вынуждает обслуживающий персонал снижать производительность систем вентиляции с целью минимизации требуемого количества тепловой энергии. В теплый же период года происходит перегрев животных ввиду постоянно действующих биологических тепловыделений, что, в свою очередь, неблагоприятно влияет на качество выпускаемой мясной продукции и на рациональность расхода потребляемого корма. Предлагаемые водяные системы радиационного отопления и охлаждения в совокупности с научно-обоснованной методикой расчета теплофизических свойств наружных ограждающих конструкций значительно снижают энергопотребление свиноводческого комплекса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Егiazаров, А. Г. Отопление и вентиляция сельскохозяйственных зданий / А. Г. Егiazаров, О. Я. Кокорин, Ю. М. Прыгунов. – Киев: Будівельник, 1976. – 223 с.
2. 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.
3. Беззубов, В. И. Совершенствование систем вентиляции и создание микроклимата в цехе опоросов свиноводческих комплексов / В. И. Беззубов, Д. Н. Ходосовский, А. С. Петрушко // Зоотехническая наука Беларуси. – 2018. – Т. 53, № 2. – С. 127–134.
4. Колпаков, Г.В. Регулирование микроклимата в условиях летнего перегрева зданий / Г.В. Колпаков. – Москва : Стройиздат, 1970. – 175 с.
5. Алексеев, И. А. Опыт применения автоматизированной системы регуляции микроклимата в помещениях свиноводческого комплекса / И. А. Алексеев, Н. Н. Варламова, Р. Н. Иванова // Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 4 (11). – С. 71–75. – DOI 10.17022/medr-j484.
6. Микроклимат производственных сельскохозяйственных зданий и сооружений / В. И. Бодров, М. В. Бодров, Е. Г. Ионычев, М. Н. Кучеренко. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2008. – 623 с. – ISBN 978-5-87941-526-1.
7. Чечевицын, И. Д. Анализ основных способов оптимизации параметров микроклимата в свиноводческих предприятиях посредством использования системы вентиляции / И. Д. Чечевицын, И. П. Криволапов, С. Ю. Щербаков // Наука и Образование. – 2022. – Т. 5, № 3.
8. Бодров, В. И. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха производственных сельскохозяйственных зданий / В. И. Бодров, Л. М. Махов, Е. В. Троицкая. – Москва : Издательство АСВ, 2014. – 240 с. – ISBN 978-5-4323-0025-6.
9. Ziarani, N. N. Anticipating an efficient relative humidity in a room under direct solar radiation and equipped by radiant cooling panel system / N.N. Ziarani, A.P. Haghighi // International Journal of Refrigeration. – 2019. – Vol. 98. – P. 98–108. – DOI 10.1016/j.ijrefrig.2018.10.018.
10. The effect of mineral micro particle in coating on energy consumption reduction and thermal comfort in a room with a radiation cooling panel in different climates / Sheikhzadeh G.A., Azemati A.A., Khorasanizadeh H. [et al.] // Energy and Buildings. – 2014. – Vol. 82. – P. 644–650. – DOI 10.1016/j.enbuild.2014.07.043.



11. Новиков, Н. Н. Использование теплоты, рассеиваемой ограждениями, в системах микроклимата свиноводческих ферм / Н. Н. Новиков // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. – 2015. – № 4 (20). – С. 173–178.

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; ELIZAROV Aleksandr Dmitrievich, master degree student at the chair of heating and ventilation; KUDRYAVTSEVA Alena Aleksandrovna, master degree student at the chair of heating and ventilation

REDUCING THE ENERGY CONSUMPTION OF A PIG FARMING COMPLEX BY IMPLEMENTING RADIATIVE HEATING AND COOLING SYSTEMS

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: radiant heating, water cooling, thermophysics, energy conservation, energy efficiency, radiation cooling, animal husbandry.

The article presents data from an analytical calculation of the actual average daily weight gain of pigs and the average daily feed consumption per 1 kg of body weight gain. The calculated data on the actual energy consumption (the need for heat and artificial cooling) of a pig housing unit equipped with traditional and innovative radiant water heating and cooling systems in a year-round operation cycle are provided.

REFERENCES

1. Egiazarov A. G. Otoplenie i ventilyatsiya selskokhozyaystvennykh zdaniy [Heating and ventilation of agricultural buildings]. Kiev, Budivelnik, 1976. 223 p.
2. Bodrov M. V., Kuznecov D. A., Smykov A. A., Ruin A. E. Issledovanie teploekhnicheskikh 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.
3. Bezzubov V. I., Khodosovsky D. N., Petrushko A. S. Sovershenstvovanie sistem ventilyatsii i sozдание mikroklimate v tsekhe oporosov svinovodcheskikh kompleksov [Improving ventilation systems and creating a microclimate in the farrowing room of pig farming complexes]. Zootehnicheskaya nauka Belarusi [Zootechnical Science of Belarus]. 2018, Vol. 53, № 2. P. 127–134.
4. Kolpakov G. V. Regulirovanie mikroklimate v usloviyakh letnego peregreva zdaniy [Regulation of the microclimate in conditions of summer overheating of buildings]. Moscow, Stroyizdat. 1970. 175 p.
5. Alekseev I. A., Varlamova N. N., Ivanova R. N. Opyt primeneniya avtomatizirovannoy sistemy regulyatsii mikroklimate v pomeshcheniyakh svinovodcheskogo kompleksa [Experience in using an automated microclimate control system in the premises of a pig-breeding complex]. Vestnik Chuvashskoy gosudarstvennoy selsk Khozyaystvennoy akademii [Bulletin of the Chuvash State Agricultural Academy]. 2019, № 4 (11). P. 71–75. DOI 10.17022/medr-j484.



6. Bodrov V. I., Bodrov M. V., Ionychev E. G., Kucherenko M. N. Mikroklimat proizvodstvennykh selskokhozyaystvennykh zdaniy i sooruzheniy [Microclimate of industrial agricultural buildings and structures]. N. Novgorod, NNGASU, 2008. 623 p.

7. Chechevicyn I. D., Krivolapov I. P., Shcherbakov S. Yu. Analiz osnovnykh sposobov optimizatsii parametrov mikroklimata v svinovodcheskikh predpriyatiyakh posredstvom ispolzovaniya sistemy ventilyatsii [Analysis of the main methods for optimizing microclimate parameters in pig farming enterprises through the use of a ventilation system]. Nauka i Obrazovanie [Science and Education]. 2022, Vol. 5, № 3.

8. Bodrov V. I. Otoplenie, ventilyatsiya i konditsionirovanie vozdukhа proizvodstvennykh selskokhozyaystvennykh zdaniy [Heating, ventilation and air conditioning of industrial agricultural buildings]. Moscow, Izdatelstvo ASV, 2014. 240 p.

9. Ziarani N. N., Haghighi A. P. Anticipating an efficient relative humidity in a room under direct solar radiation and equipped by radiant cooling panel system. International Journal of Refrigeration. 2019. Vol. 98. P. 98–108. DOI 10.1016/j.ijrefrig.2018.10.018.

10. Sheikhzadeh G. A., Azemati A. A., Khorasanizadeh H. [et al.] The effect of mineral micro particle in coating on energy consumption reduction and thermal comfort in a room with a radiation cooling panel in different climates. Energy and Buildings. 2014, Vol. 82. P. 644–650. DOI 10.1016/j.enbuild.2014.07.043.

11. Novikov N. N. Ispolzovanie teploty, rasseivaemoy ograzhdeniyami, v sistemakh mikroklimata svinovodcheskikh ferm [Use of heat dissipated by fences in microclimate systems of pig farms]. Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva [Bulletin of the All Russian Research Institute for Animal Husbandry Mechanization]. 2015, № 4 (20). P. 173–178.

© **М. В. Бодров, А. Е. Руин, А. Д. Елизаров, А. А. Кудрявцева, 2026**

Получено: 01.07.2026 г.