

ИНЖЕНЕРНЫЕ СЕТИ И СООРУЖЕНИЯ, ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ, ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ОХРАНА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

УДК 628.87:631.223.6

М. В. БОДРОВ¹, д-р техн. наук, зав. кафедрой отопления и вентиляции;
А. Ф. ШАПОВАЛ², д-р техн. наук, проф., проф. кафедры инженерных систем и
сооружений; А. Е. РУИН¹, ассистент кафедры отопления и вентиляции;
А. Д. ЕЛИЗАРОВ¹, магистрант кафедры отопления и вентиляции

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ПОМЕЩЕНИЙ СВИНАРНИКА

¹ФГБОУ 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

²ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет».

Россия, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, д. 38.

Тел.: (3452) 28-37-71; shapovalaf@tyuiu.ru

Ключевые слова: численное моделирование, производственные сельскохозяйственные здания, свинарник, параметры микроклимата.

В статье приведены особенности изменения расхода потребляемого корма и среднесуточного привеса свиней от температуры внутреннего воздуха. Авторами приводятся результаты численного моделирования теплового состояния свиноводческого комплекса в программном комплексе Ansys Fluent для холодного и теплого периодов года.

Введение

В настоящее время одним из приоритетных и важнейших вопросов в жизни каждого государства является обеспечение продовольственной безопасности страны. На решение поставленной задачи утверждены различные стратегии развития Российской Федерации [1, 2], направленные на совершенствование предприятий по производству продуктов питания и их конкурентоспособности, улучшения качества выпускаемой продукции и доступности их для населения страны.

Для выполнения поставленных задач в области свиноводческих предприятий необходимо соблюдать технологические, экономические и санитарно-гигиенические требования к содержанию различных возрастных и физиологических групп животных.

Особую роль в технологии содержания свиней играет микроклимат помещений, т. к. от него напрямую будет зависеть общий привес массы животного при откорме. При параметрах микроклимата, отличных от комфортных, у свиней будет наблюдаться тепловой стресс, который, в свою очередь, может вызвать снижение среднесуточного привеса массы животного или даже его потерю (рис. 1) [3–5].

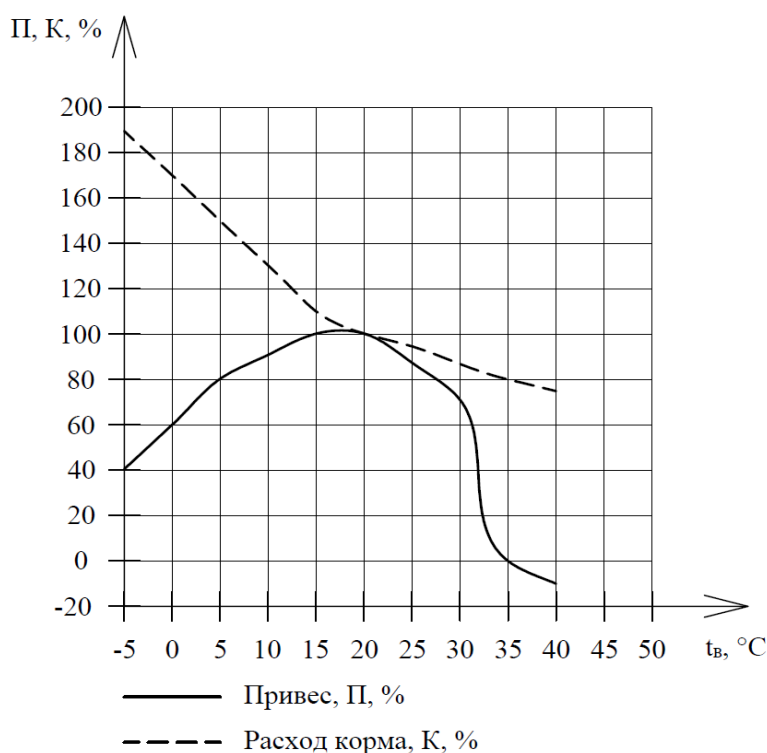


Рис. 1. Изменение привеса массы свиней и расхода потребляемого корма от температуры внутреннего воздуха

Так, например, в холодный период года при понижении температуры воздуха животные начинают потреблять больше корма, но при этом среднесуточный привес массы животного будет уменьшаться. В теплый период при повышении температуры воздуха у животных снижается аппетит и активность, что также ведет к снижению привеса. Целью систем поддержания микроклимата в свиноводческих помещениях является обеспечение таких параметров воздушно-тепловой среды, при которых будет обеспечиваться максимальный привес массы животного при минимально возможном расходе кормов.

В настоящее время считается, что свиноводческие помещения не требуют использования искусственно сгенерированной (выработанной) теплоты, а расчетные параметры микроклимата поддерживаются за счет биологических тепловыделений (в холодный период) и применения естественной вентиляции.

Материалы и методы

В данной статье исследуется температурный режим свиноводческого помещения для холодного и теплого периода года. Для решения задач тепломассопереноса применяют методы численного анализа, реализуемые различными программными комплексами. Одним из таких программных комплексов является расчетчик *Fluent*, входящий в состав программного комплекса *Ansys*. *Ansys* – это система конечно-элементного анализа, которая использует неструктурированную сетку, что позволяет получить наиболее точное решение со значительными градиентами данных в потоке. Процессы решателя для помещений с турбулентными течениями воздуха и дополнительными



источниками теплоты описываются фундаментальными дифференциальными уравнениями Навье – Стокса для неразрывности потока (1), движения (2) и энергии (3) [6, 7], которые не имеют решений в общем случае:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0; \quad (1)$$

$$\frac{\partial \bar{u}_j}{\partial t} + \bar{u}_i \cdot \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} = \bar{f}_j - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} + \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial}{\partial x_i} \cdot \left(\eta \cdot \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} - \rho \cdot \bar{u}'_j \cdot \bar{u}'_i \right); \quad (2)$$

$$\frac{\partial \bar{T}}{\partial t} + \bar{u}'_i \cdot \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_i} = a \cdot \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\partial \bar{T}}{\partial x_i} \right) + \frac{\partial}{\partial x_i} \cdot (-\bar{T}' \cdot \bar{u}'_i), \quad (3)$$

где: \bar{u}_i, \bar{u}_j – осредненные по времени значения скоростей;

\bar{u}'_i, \bar{u}'_j – пульсационные составляющие скорости;

t – время;

\bar{f}_j – вектор плотности распределения внешней массовой силы, действующей на жидкость;

ρ – плотность жидкости;

\bar{P} – осредненное гидродинамическое давление;

η – динамический коэффициент вязкости;

\bar{T} – осредненная температура жидкости;

\bar{T}' – локальная пульсация температуры жидкости;

a – коэффициент теплопроводности.

В качестве объекта исследования принят типовой участок свиноводческого комплекса (рис. 2) на 2300 племенных голов единовременного содержания. Конструктивно здание выполнено из сэндвич панелей с минераловатным наполнителем, наружные стены выполнены из сэндвич панелей 100 мм, кровля выполнена из сэндвич панелей 150 мм.

Система вентиляции свинарника принята гибридная: удаление загрязнённого (отработанного) воздуха осуществляется крышным вентилятором, расположенным на кровле; приток осуществлён за счет приточных клапанов в наружных стенах. Система вентиляции удаляет и подает в помещение минимально необходимый объем воздуха согласно [8], который составляет 30 м³/ч (холодный период) и 60 м³/ч (теплый период) на 100 кг массы животного.

В расчетной модели используется универсальная k - ϵ модель с константами [6, 7]:

$$C_{\mu} = 0,09; C_{\epsilon 1} = 1,44; C_{\epsilon 2} = 1,92; \sigma_k = 1,0; \sigma_{\epsilon} = 1,3.$$

Для расчета объемного излучения выбрана модель дискретных ординат (DO), которая позволяет корректно моделировать излучение от поверхностей, не являющихся серыми.

Граничные условия на внешних границах области – третьего рода, с температурой окружающей среды, соответствующей климатическим параметрам для г. Нижний Новгород. Для теплого периода года теплопоступления в помещения от солнечной радиации учтены при помощи встроенного в *Ansys Fluent* калькулятора *Solar Ray Tracing*.



Схема рассматриваемого моделируемого помещения представлена на рис. 3, также для учета биологических тепловыделений от животных в модели присутствуют элементарные, приближенные к реальным объемы в виде цилиндров с площадью поверхности, соответствующей реальной свинье массой 200 кг, находящейся на откорме.

Результаты исследований

Геометрическая модель расчетной области исследуемого помещения с учетом тел животных была создана с применением подпрограммы *DesignModeller* (рис. 3), входящей в состав программного комплекса *Ansys*. Для решения методом конечных объемов для исследуемой модели была построена сетка в модуле *Ansys Meshing* (рис. 4) [9, 10].

Выбранная конфигурация сетки ($\sim 19,36 \cdot 10^6$ контрольных объемов) обеспечивает наибольшую точность результатов, полученных при решении в *Ansys Fluent*. Критериями сходимости решения *Ansys Fluent* было выполнение баланса теплового потока в расчетной области, равенство подающего и удаляемого из помещения воздуха, а также стабилизация среднеобъемной температуры в исследуемой модели.

В результате проведенного численного моделирования воздушно-теплого режима помещения содержания свиней были получены термограммы распределения температур воздуха в объеме помещения (рис. 5–7) для холодного и теплого периодов года [11].

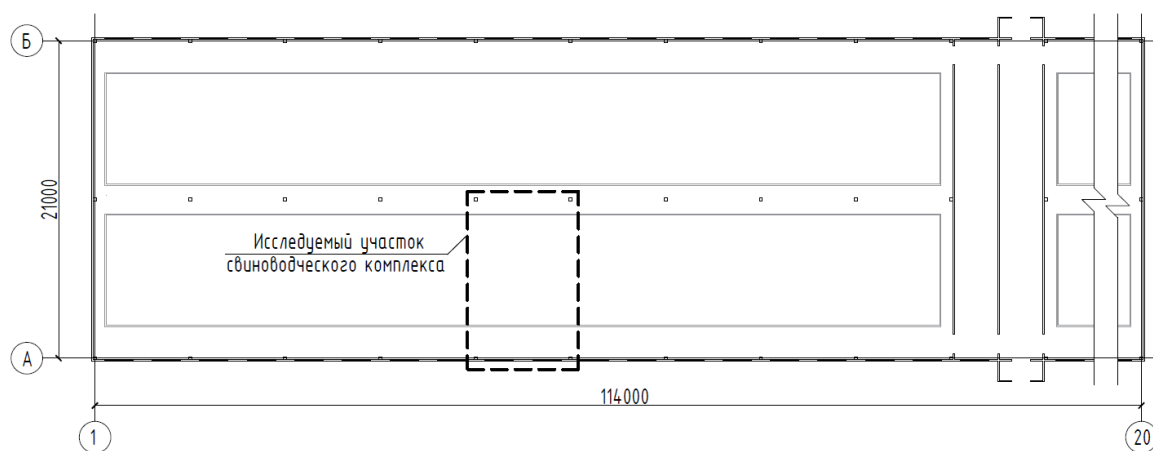


Рис. 2. Схема свиноводческого комплекса с обозначением исследуемого участка

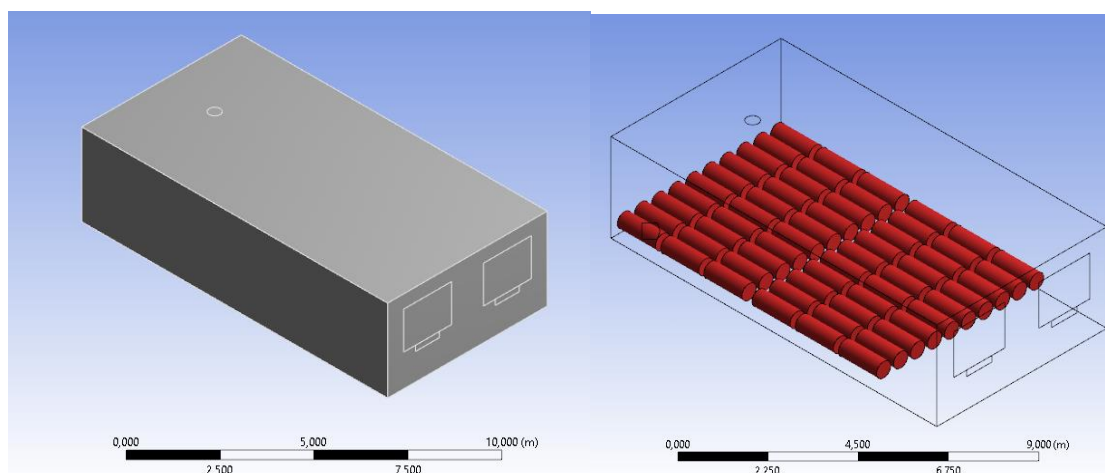


Рис. 3. Схема моделируемого помещения

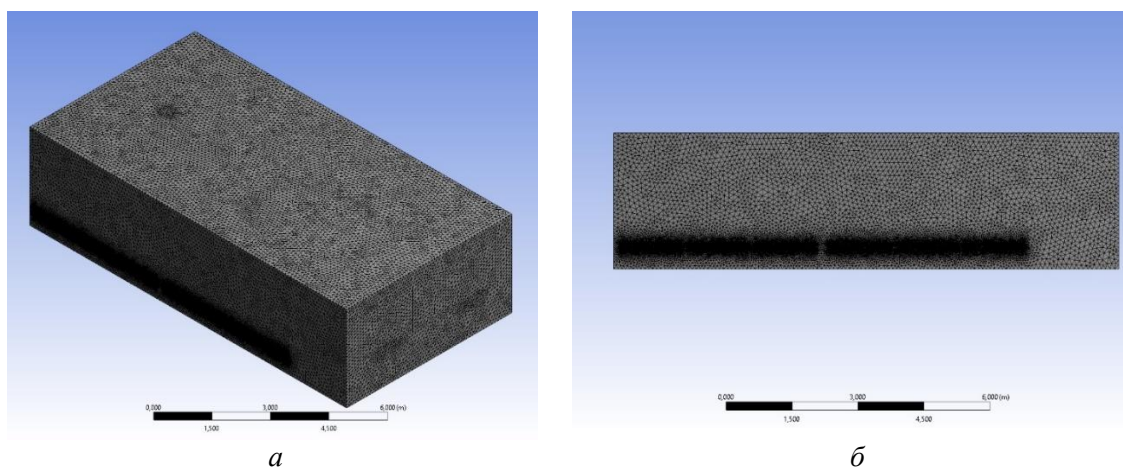


Рис. 4. Расчетная сетка помещения (а) и в поперечном сечении (б), сформированная в *Ansys Meshing*

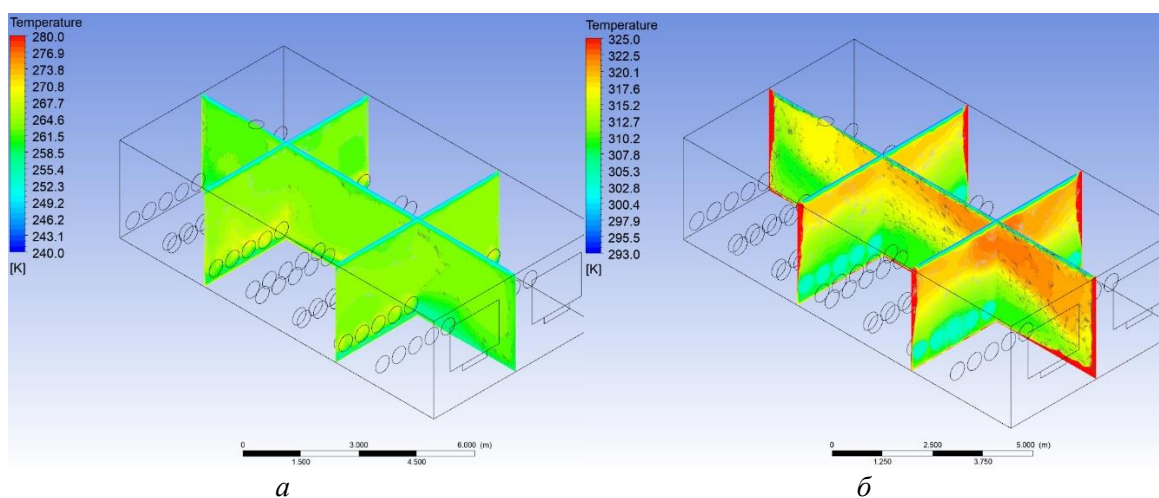


Рис. 5. Распределение температуры воздуха в рассматриваемом помещении в холодный период (а) и теплый период (б)

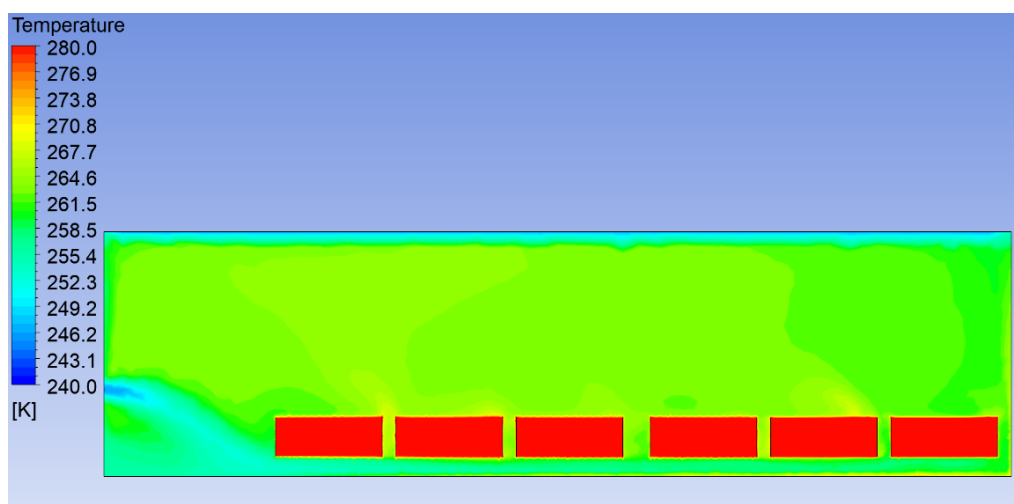


Рис. 6. Распределение температуры воздуха в поперечном сечении рассматриваемого помещения в холодный период

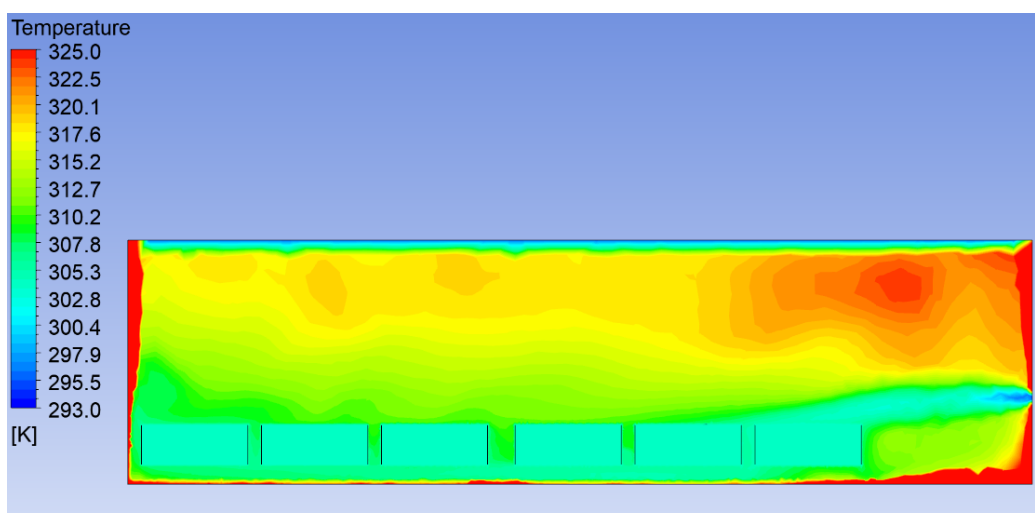


Рис. 7. Распределение температуры воздуха в поперечном сечении рассматриваемого помещения в теплый период

Заключение

Моделирование температурного режима показало, что свиноводческие комплексы, расположенные в Нижегородской области, не могут существовать без использования искусственно сгенерированной энергии (подвода дополнительной тепловой энергии в холодный период года и отвода теплоты в теплый период года).

В холодный период года в рабочей зоне (0,7 метра от уровня пола) температура воздуха наблюдается в районе $-10... -5$ °С. Согласно данным рис. 1 при таком температурном режиме значительно увеличится расход кормов (до 200 % от среднесуточного), а общий привес будет уменьшаться (до 40 % от среднесуточного), т. к. вся полученная организмом энергия будет потрачена на поддержание температуры тела животного.



В теплый период года ввиду постоянных биологических тепловыделений и теплопоступлений от солнечной радиации температура в рабочей зоне поднимается до +30...+35 °С, а расход корма животными снижается до 80 %. При этом у животных почти полностью пропадет аппетит, что может привести не только к снижению среднесуточного привеса, но и к его полной потере (рис. 1).

В заключение отметим, что авторами в дальнейшем планируется продолжение исследований температурного режима свиноводческих помещений в круглогодичном цикле эксплуатации, с применением систем радиационного отопления и охлаждения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Российская Федерация. Президент. О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации : указ Президента Российской Федерации от 28.02.2024 № 145. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Режим доступа: КонсультантПлюс. Законодательство. ВерсияПроф. – Текст : электронный.

2. Российская Федерация. Правительство. Об утверждении Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года : распоряжение Правительства Российской Федерации от 29.06.2016 № 1364-р. – Режим доступа: КонсультантПлюс. Законодательство. ВерсияПроф. – Текст : электронный.

3. Самарин, Г. Н. Энергосберегающая технология формирования микроклимата в животноводческих помещениях: специальность 05.20.02 : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Самарин Геннадий Николаевич ; Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина. – Москва, 2009. – 34 с.

4. 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.

5. Бодров, В. И. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха производственных сельскохозяйственных зданий / В. И. Бодров, Л. М. Махов, Е. В. Троицкая. – Москва : АСВ, 2014. – 240 с. – ISBN 978-5-4323-0025-6.

6. Соляник, С. Цифровое животноводство – технология XXI века / С. Соляник, В. Соляник // Животноводство России. – 2021. – № S1. – С. 37–41.

7. ANSYS Fluent Theory Guide. Release 2019 R3. – Canonsburg : ANSYS, Inc., 2019. – 814 p.

8. РД-АПК 1.10.02.04-12. Методические рекомендации по технологическому проектированию свиноводческих ферм и комплексов : система рекомендательных документов агропромышленного комплекса : дата введения 06.07.2012 / Министерство сельского хозяйства России. – Москва : Росинформагротех, 2012. – 138 с.

9. Цынаева, А. А. Численное исследование микроклимата помещения с использованием СПО / А. А. Цынаева, Е. А. Цынаева // Труды Института системного программирования РАН. – 2021. – Т. 33, № 5. – С. 259–270. – DOI 10.15514/ISPRAS-2021-33(5)-16.

10. Денисихина, Д. М. Расчет коэффициента воздухообмена методами математического моделирования параметров микроклимата / Д. М. Денисихина // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2023. – № 4 (66). – С. 337–345. – DOI 10.52409/20731523_2023_4_337.

11. Уляшева, В. М. О корректности численного моделирования вентиляционных процессов / В. М. Уляшева // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2012. – № 11-12. – С. 79–83.



BODROV Mikhail Valerevich¹, doctor of technical sciences, professor, holder of the chair of heating and ventilation; SHAPOVAL Anatoliy Filippovich², doctor of technical sciences, professor, professor of the chair of engineering systems and structures; RUIN Aleksey Evgenevich¹, assistant of the chair of heating and ventilation; ELIZAROV Aleksandr Dmitrievich¹, master degree student of the chair of heating and ventilation

MODELING THE THERMAL REGIME OF PIGSTY PREMISES

¹Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia.

Tel.: (831) 430-54-85; e-mail: tes84@inbox.ru

²Tyumen Industrial University.

38, Volodarsky Street, Tyumen, 625000, Russia.

Tel.:(3452) 28-37-71; e-mail: chekardovskijmn@tyuiu.ru

Key words: numerical modeling, agricultural production buildings, pigsty, microclimate parameters.

The article describes the changes in feed consumption and average daily weight gain of pigs as a function of indoor air temperature. The authors present the results of numerical modeling of the thermal state of a pig-breeding complex using the Ansys Fluent software package for cold and warm seasons.

REFERENCES

1. Rossiyskaya Federatsiya. Prezident. O Strategii nauchno-tekhnologicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii [Russian Federation. President. On the Strategy for Scientific and Technological Development of the Russian Federation]: ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii ot 28.02.2024 № 145. URL: <http://www.consultant.ru>. Access mode: KonsultantPlyus. Zakonodatelstvo. VersiyaProf.

2. Rossiyskaya Federatsiya. Pravitelstvo. Ob utverzhdenii Strategii povysheniya kachestva pishchevoy produktsii v Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda [Russian Federation. Government. On the approval of the Strategy for Improving the Quality of Food Products in the Russian Federation until 2030]: rasporyazhenie Pravitelstva Rossiyskoy Federatsii ot 29.06.2016 № 1364-r. Access mode: KonsultantPlyus. Zakonodatelstvo. VersiyaProf.

3. Samarin G. N. Energosberegayushchaya tekhnologiya formirovaniya mikroklimata v zhivotnovodcheskikh pomeshcheniyakh [Energy-saving technology for forming microclimate in livestock buildings]: spetsialnost 05.20.02 : avtoref. diss. ... dok. tekhn. nauk. Moscow, Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet imeni V. P. Goryachkina, 2009, 34 p.

4. Bodrov V. I., Bodrov M. V., Ionychev E. G., Kucherenko M. N. Mikroklimat proizvodstvennykh selskokhozyaystvennykh zdaniy i sooruzheniy [Microclimate of agricultural production buildings and structures]. Nizhny Novgorod, NNGASU, 2008, 623 p. ISBN 978-5-87941-526-1.

5. Bodrov V. I., Makhov L. M., Troitskaya E. V. Otoplenie, ventilyatsiya i konditsionirovanie vozdukhа proizvodstvennykh selskokhozyaystvennykh zdaniy [Heating, ventilation and air conditioning of agricultural production buildings]. Moscow, ASV, 2014, 240 p. ISBN 978-5-4323-0025-6.

6. Solyanik S., Solyanik V. Tsifrovoye zhivotnovodstvo – tekhnologiya XXI veka [Digital livestock farming – technology of the XXI century]. Zhivotnovodstvo Rossii [Animal Husbandry of Russia], 2021, № S1, P. 37–41.



7. ANSYS Fluent Theory Guide. Release 2019 R3. Canonsburg, ANSYS, Inc., 2019, 814 p.

8. RD-APK 1.10.02.04-12. Metodicheskie rekomendatsii po tekhnologicheskomu proektirovaniyu svinovodcheskikh ferm i kompleksov [RD-APK 1.10.02.04-12. Methodological recommendations for technological design of pig farms and complexes]: sistema rekomendatelnikh dokumentov agropromyshlennogo kompleksa : data vvedeniya 06.07.2012. Ministerstvo selskogo khozyaystva Rossii. Moscow, Rosinformagrotekh, 2012, 138 p.

9. Tsynaeva A. A., Tsynaeva E. A. Chislennoe issledovanie mikroklimata pomeshcheniya s ispolzovaniem SPO [Numerical study of indoor microclimate using open source software]. Trudy Instituta sistemnogo programmirovaniya RAN [Proceedings of the Institute for System Programming of the RAS], 2021, Vol. 33, № 5, P. 259–270. DOI 10.15514/ISPRAS-2021-33(5)-16.

10. Deniskhina D. M. Raschet koeffitsienta vozdukhoobmena metodami matematicheskogo modelirovaniya parametrov mikroklimata [Calculation of the air exchange coefficient using methods of mathematical modeling of microclimate parameters]. Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta [News of the Kazan State University of Architecture and Engineering], 2023, № 4 (66), P. 337–345. DOI 10.52409/20731523_2023_4_337.

11. Ulyasheva V. M. O korrrektnosti chislennogo modelirovaniya ventilyatsionnykh protsessov [On the correctness of numerical modeling of ventilation processes]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction], 2012, № 11-12, P. 79–83.

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

Получено: 16.01.2026 г.