

DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-3-46-55

Ильина Т.Н., Колесников М.С., Крюков И.В., Орлов П.А.Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова***E-mail: ilina50@rambler.ru*

О СПОСОБАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВОЗДУХООБМЕНА В ЦЕХАХ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Аннотация. Рассмотрены способы организации воздухообмена в животноводческих комплексах. На примере корпуса откорма на 200 голов свиноводческого комплекса показаны способы организации механической приточно-вытяжной и естественной системы вентиляции. Для данного корпуса произведен расчет производительности системы вентиляции по избыткам влаги и по содержанию углекислого газа в помещении. Установлено, что производительность системы вентиляции целесообразно производить по значениям избыточной влаги, что соответствует требованиям зоогиgienического норматива. Произведен расчет кратности воздухообмена в помещении содержания животных, который составляет 1,5 раза и соответствует нормативным проектным показателям для свинокомплексов. Произведен аэродинамический расчет приточной и вытяжной системы вентиляции, определено количество приточных и вытяжных каналов для каждой системы соответственно. Для визуализации процесса подачи и распределения воздуха в программе SolidWorks была построена модель воздушных потоков при работе естественной и приточно-вытяжной системы вентиляции для трех случаев, когда температура наружного воздуха составляет -20; 0; +20 °С. Показано, что в теплый и холодный периоды года целесообразно подавать подготовленный воздух через распределительные каналы приточной вентиляции. Для достижения требуемых параметров внутреннего воздуха в помещении свинокомплекса подготовку приточного воздуха в системе механической вентиляции предлагается проводить с использованием воздушного теплового насоса с антиобледенительной системой MOVEBIT.

Ключевые слова: естественная вентиляция, приточно-вытяжная система вентиляции, микроклимат, свинокомплекс, распределение воздушных потоков.

Введение. Качественный состав воздушных потоков в помещениях животноводческих комплексов постоянно меняется под воздействием углекислого газа, тепла и влаги, выделяемых животными. Для обеспечения нормативных параметров микроклимата, требуемой кратности воздухообмена необходима рационально организованная система приточно-вытяжной вентиляции, что в конечном итоге позволит увеличить продуктивность животных [1].

Целью работы является проведение сравнительного анализа распределения воздушных потоков при естественной и приточно-вытяжной вентиляции в корпусе откорма свиноводческого комплекса при одних и тех же условиях.

Системы вентиляции бывают двух видов: системы естественной и механической (принудительной) вентиляции.

В системах с естественной вентиляцией приток и вытяжка воздуха из помещения происходит без механических побудителей. В области животноводческих комплексов данный тип вентиляции получил наибольшее распространение. Однако регулировать и поддерживать требуемые параметры микроклимата в животноводческих комплексах при такой схеме вентиляции достаточно сложно. Работа естественной вентиляции основана на движении воздушных потоков за счет

разности давлений наружного и внутреннего воздуха, обусловленного разностью температур. Также существуют системы естественной вентиляции, основной движущей силой в которых является сила ветра [2–3].

Системы механической вентиляции делятся на следующие типы: системы положительного давления, системы отрицательного давления и приточно-вытяжные системы. Отличаются эти системы способом организации притока наружного и вытяжки внутреннего воздуха.

В первом случае приточный воздух подается в помещение за счет механического побудителя воздуха, а вытяжка осуществляется без вентиляторов через воздушные клапаны.

В системах отрицательного давления организация воздухообмена происходит за счет разряжения, создаваемого при удалении внутреннего воздуха вытяжными вентиляторами большой мощности, а подача наружного воздуха осуществляется через воздушные стеновые или потолочные клапаны без механического побуждения [4].

Следует отметить, что при неправильной организации такой системы вентиляции в зоне нахождения животных будет располагаться загрязненный аммиаком и прочими вредными газами воздух. А более чистый и теплый воздух бу-

дет занимать пространство в верхней части животноводческого комплекса под крышей, и, соответственно, будет удаляться вытяжными вентиляторами [5].

В приточно-вытяжных системах вентиляции поступление наружного свежего воздуха, и удаление внутреннего воздуха осуществляется за счет работы механических побудителей воздуха. При такой схеме организации воздухообмена происходит равномерное распределение воздушных потоков, как по температуре, так и по скорости движения воздушных масс, по всему объему

помещения животноводческого комплекса. Появляется возможность поддерживать требуемые параметры микроклимата, отвечающие зоогигиеническим нормам.

Материалы и методы. В качестве объекта исследования был принят корпус откорма свиного комплекса на 200 голов в Белгородской области. Расчет воздухообмена проводился согласно норм РД АПК 1.10.02.04-12 Методические рекомендации по технологическому проектированию свиноводческих ферм и комплексов [6–8]. Параметры наружного воздуха приведены в таблице 1.

Таблица 1

Расчетные параметры наружного воздуха

Период года	Параметр	$t_n, ^\circ\text{C}$	$I_n, \text{кДж/кг}$	$d_n, \text{г/кг}$	$\varphi_n, \%$
Теплый (ТП)	А	23	53,5	12	68
Холодный (ХП)	Б	-27	-26	0,4	86

Для поддержания требуемых параметров микроклимата в свиноводческом корпусе необходимо организовать приточно-вытяжную систему вентиляции так, чтобы кратность воздухообмена в помещении не превышала 5 раз в час. [8]. Неправильно организованная система вентиляции приводит к отклонению параметров микроклимата от нормативных, а соответственно в помещении могут наблюдаться как повышенные концентрации углекислого газа, избытки тепла и влаги, так их недостатки [9].

Рассматриваемый корпус откорма свиноводческого комплекса имеет габаритные размеры $60 \times 12 \times 5$ м, объем помещения соответственно равен 3600 м^3 . В нем находится 200 свиней, каждая живой массой по 100 кг. Температура внутреннего воздуха $+18 ^\circ\text{C}$.

Расчет производительности системы вентиляции рекомендуется производить по выделе-

ниям углекислого газа и по влаговыведениям, согласно методическим указаниям [9].

Производительность системы вентиляции по углекислому газу рассчитывается по формуле:

$$L = \frac{K}{C_1 - C_2}, \quad (1)$$

где K – количество углекислого газа, выделяемое всеми животными за час, л/ч – $8740 \text{ м}^3/\text{г}$;

C_1 – допустимое количество углекислого газа в 1 м^3 воздуха помещения – $2,5 \text{ л}/\text{м}^3$;

C_2 – количество углекислого газа в 1 м^3 атмосферного воздуха – $0,3 \text{ л}/\text{м}^3$.

Согласно РД АПК 1.10.02.04-12 нормы выделения теплоты и водяных паров представлены при температуре $10 ^\circ\text{C}$ и относительной влажности $70\text{--}75 \%$. На основании этого произведены расчеты количества углекислого газа и влаговыведений, поступающих в помещение, которые приведены в таблице 2.

Таблица 2

Выделение животными водяных паров, углекислоты и свободного тепла

Группы животных, живая масса (ж.м)	Кол-во голов	Водяные пары, г/ч		Углекислота, л/ч	
		На 1 ж-е	На поголовье	На 1 ж-е	На поголовье
Взрослые свиньи на откорме, ж.м. 100 кг	200	152	30400	43,7	8740
Итого:	200	–	30400	–	8740

Тогда, используя все полученные результаты, рассчитываем производительность системы вентиляции L_{CO_2} , которая равняется $3973 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Расчет производительности системы вентиляции по углекислоте чаще всего недостаточен для удаления влаги, поступающей в помещение от животных и испаряемой с ограждающих кон-

струкций. Поэтому далее производим расчет часового объема вентиляции по водяным парам.

Для переходного периода года, воздухообмен рассчитывается по избыточной влаге. Это обусловлено относительно низкой температурой наружного воздуха и его повышенной относительной влажностью. Увеличение кратности воздухообмена за счет открытия окон и дверей может привести к переохлаждению животных и

простудным заболеваниям.

Производительность системы вентиляции по влаговыведениям рассчитывается по формуле:

$$L_{n,о} = \frac{Q}{q_1 - q_2}, \quad (2)$$

где Q – количество влаги, выделяемое животными и испаряемое с ограждающих конструкций, г/ч;

q_1 – абсолютная влажность воздуха при оптимальных условиях, г/м³ – 11,45 г/м³;

q_2 – абсолютная влажность вводимого в помещение атмосферного воздуха в переходный

период года г/м³ – (4,2+3,8)/2 = 4,0 г/м³.

В помещение от свиней поступает 30400 г/ч влаги. Поступление влаги в помещение за счет ее испарения с ограждающих конструкций при удовлетворительном санитарном режиме, исправно действующей канализации, регулярной уборке навоза в корпусах откорма свиноводческих комплексов принимается равным 30 % [10, 11]. Дополнительно с ограждающих конструкций в течение часа выделяется 9120 г/ч влаги.

Результаты расчета производительности системы вентиляции по углекислому газу и по влаговыведениям для теплого периода года приведены в таблице 3.

Таблица 3

Производительность системы вентиляции

Помещение	Объем помещения V, м ³	Расход воздуха L, м ³ /ч	
		По влаговыведениям	По СО ₂
Корпус откорма	3600	5304,7	3973

Согласно требованиям, предъявляемым к проектированию свиноводческих комплексов, кратность воздухообмена не должна превышать нормируемого значения. При увеличении данного параметра в помещении возникают сквозняки, вследствие чего повышается заболеваемость животных [12, 13]. Кратность воздухообмена в помещении корпуса откорма составила 1,5 раза в час (5304,7/3600), что отвечает требованиям нормативных документов.

Для расчета общей площади сечения вытяжных каналов используем формулу:

$$S_1 = \frac{L}{V \cdot 3600}, \quad (3)$$

где L – производительность системы вентиляции, м³/ч;

V – скорость движения воздушных потоков.

Температура воздуха внутри свинокомплекса – 18 °С, средняя температура наружного воздуха в переходный период – -0,1 °С (ноябрь – 0,5 °С, март – -0,7 °С). Следовательно, разница температур составляет 18 – (-0,1) = 18,1 °С. Тогда при высоте трубы 5 м скорость движения воздуха в вентиляционной шахте V будет равна 1,29 м/с [14].

В нашем примере площадь сечения вытяжных каналов равна 1,14 м².

Для свиноводческих комплексов наиболее эффективно применение вытяжных шахт, площадь сечения которых более 1 м². Следовательно, принимаем вытяжную шахту с размерами сечения 1,1 м × 1,1 м. Площадь поперечного сечения одной такой шахты составит 1,21 м². Тогда количество вытяжных шахт – 1 шт. (1,14/1,21).

Общая площадь сечения приточных каналов составляет 70 % от площади сечения вытяжных

каналов, соответственно получаем 0,8 м² [14].

При расчете площади сечения одного приточного окна для системы естественной вентиляции получаем 0,0675 м² (0,15×0,45 м), следовательно, общее число приточных окон равно 12 шт. При расчете площади сечения одного приточного канала для механической системы приточно-вытяжной вентиляции получаем 0,0314 м², общее число приточных каналов равно 26 шт.

Составлена аксонометрическая схема приточной системы вентиляции, произведен аэродинамический расчет, по результатам которого подобран вентилятор ЦЧ-70 № 5 930 об/мин с подачей воздуха 5700 м³/ч.

Перспективным направлением энергосбережения является использование в теплоснабжении возобновляемых источников энергии и вторичного тепла с помощью теплонасосных установок [15–17]. В настоящей работе для подготовки требуемых параметров воздуха предлагается использовать воздушный тепловой насос с антиобледенительной системой MOVEBIT [18, 19]. Для охлаждения воздуха в теплый период предусмотрен реверсивный цикл работы теплонасосной установки с необходимым комплектом клапанов и терморегулирующих вентилей.

Результаты и обсуждение. При проектировании и расчете систем микроклимата зданий возникает потребность в оценке адекватности принятых инженерных решений. Для расчета и оценки эффективности таких систем применяется CFD-моделирование, позволяющее детально и точно спрогнозировать характер движения воздуха в помещении.

Используя методы численного моделирования движения воздушных потоков, рассмотрим на примере здания свинокомплекса эффективность запроектированной системы вентиляции с учетом теплотерь помещения, теплоступлений, расположения воздухораспределителей и температуры приточного воздуха.

Численное моделирование поставленной задачи проводится в программном комплексе SolidWorks Flow Simulation [20]. В данном случае движение и теплообмен текучей среды моделируется с помощью уравнений Навье-Стокса, описывающих в нестационарной постановке законы сохранения массы, импульса и энергии этой среды.

Объект моделирования представляет собой здание свинокомплекса. Общая площадь здания 720 м^2 . Суммарные теплотери здания согласно выполненным проектным расчетам через наруж-

ные ограждения в холодный период года составили 62740 Вт , в переходный период – 29914 Вт . Потери тепла на испарение влаги составили 6310 Вт . Теплоступления от свиней составили 60000 Вт .

Рассматривается два случая организации воздухообмена в здании свинокомплекса: за счет естественной вентиляции, когда приток воздуха осуществляется через открытые окна и механической вентиляции, когда приток воздуха осуществляется через воздухораспределители. Параметры температуры приточного воздуха приняты одинаковые для случая естественной и механической вентиляции и равны $-20, 0$ и $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Удаление воздуха из помещения осуществляется системой вытяжной вентиляции – расход удаляемого воздуха 6366 кг/ч , что соответствует объемному расходу воздуха $5307,4 \text{ м}^3/\text{ч}$ (табл. 3). Модели воздушных потоков представлены на рисунках 1-3.

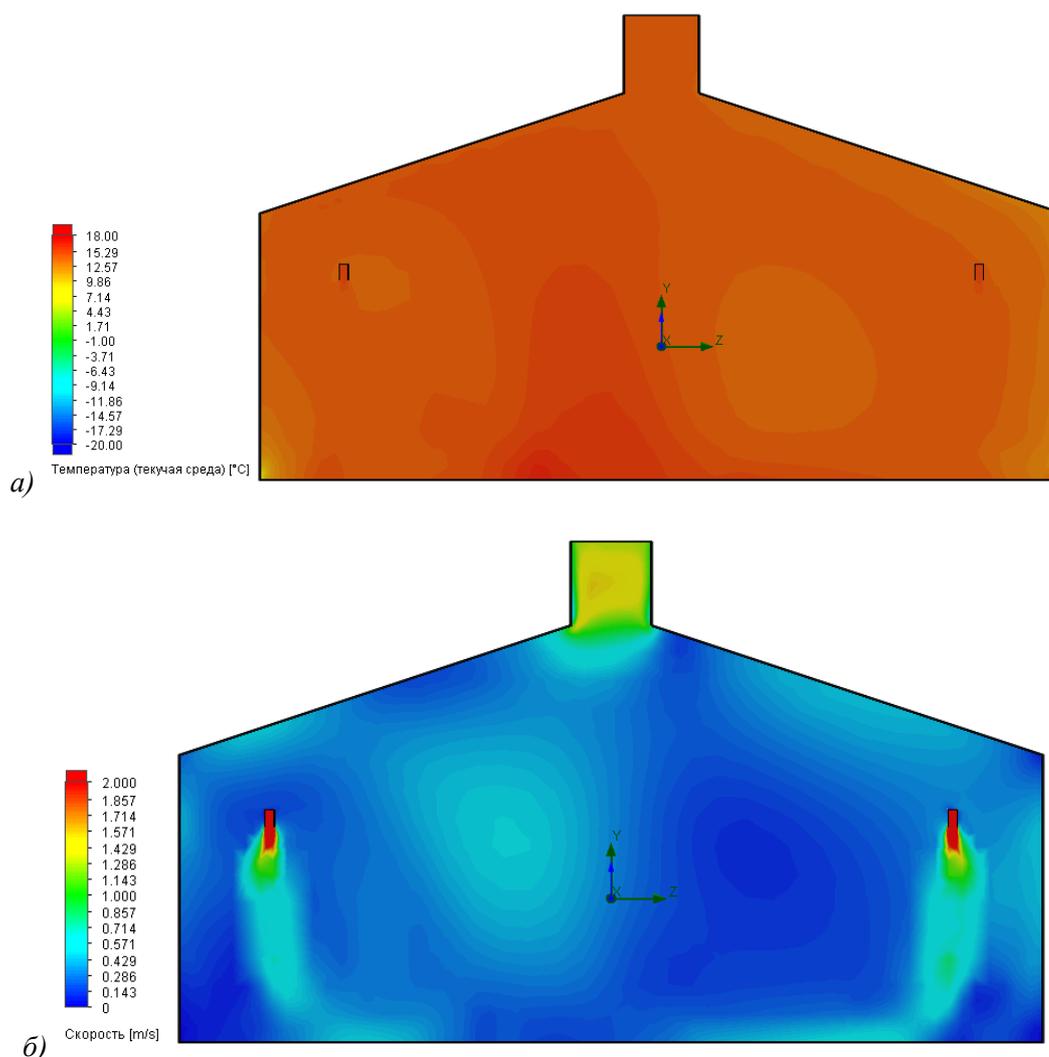


Рис. 1. Распределение температур (а) и скоростей (б) воздушных потоков через приточные каналы механической вентиляции при температуре подаваемого воздуха $20 \text{ }^\circ\text{C}$

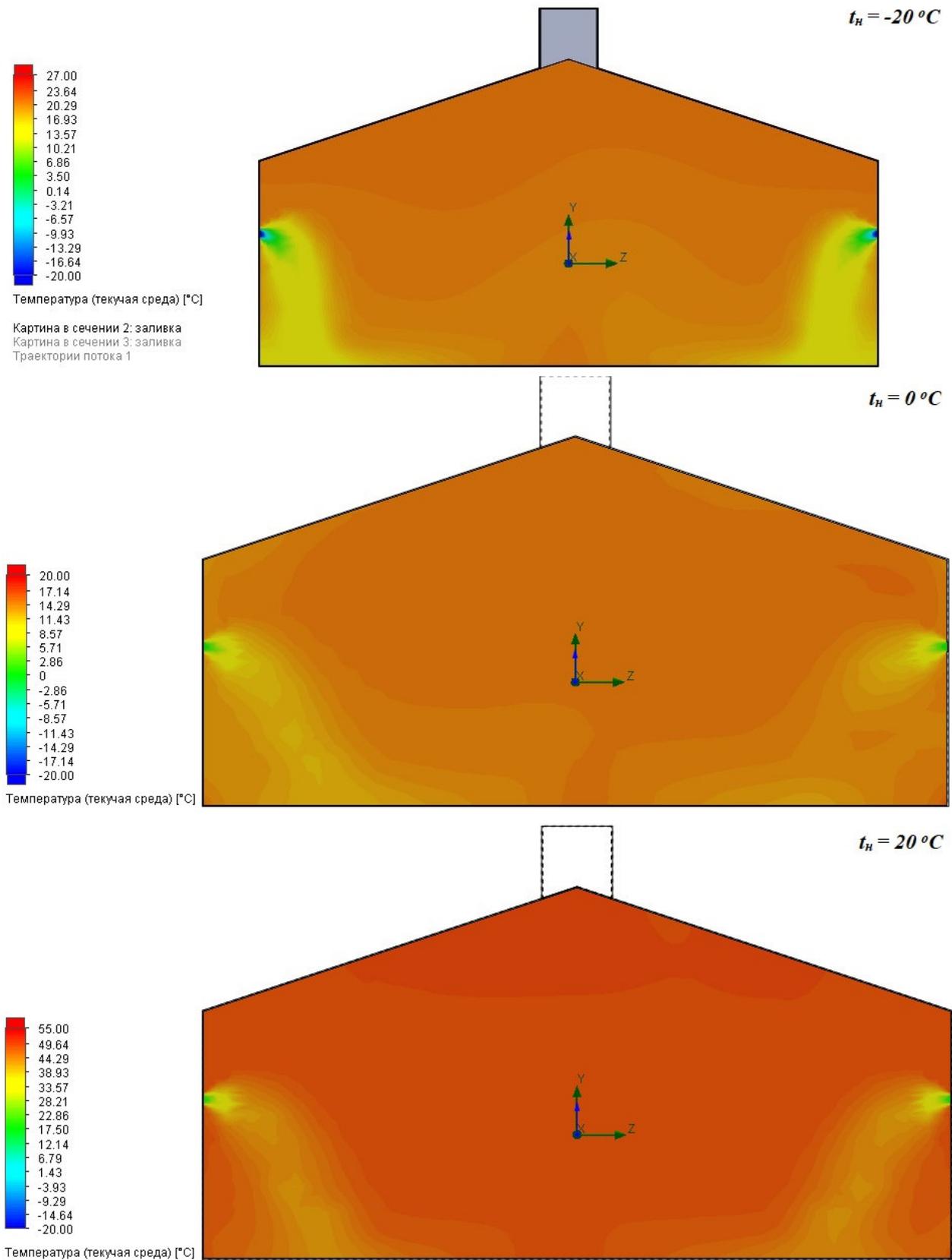


Рис. 2. Распределение температур воздушных потоков внутри помещения при естественной вентиляции и $t_n = -20, 0, 20^\circ\text{C}$

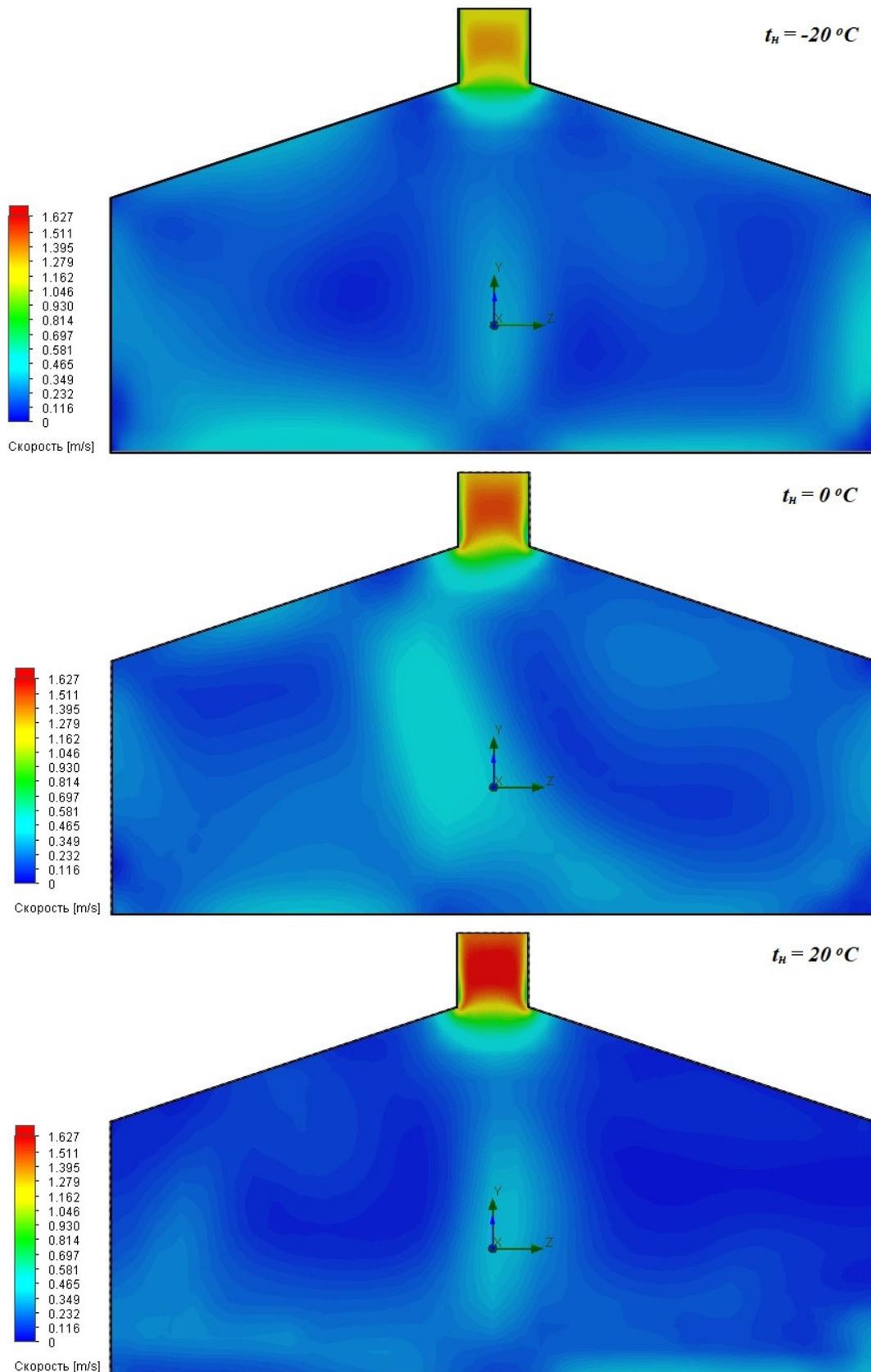


Рис. 3. Распределение скоростей воздушных потоков внутри помещения при естественной вентиляции и $t_n = -20, 0, 20\text{ }^\circ\text{C}$

На рисунке 1 показано распределение температур и скорости воздуха в производственном помещении при подаче подготовленного воздуха

через приточную механическую систему вентиляции. Температура воздуха в рабочей зоне находится в пределах 18 градусов, скорость воздуха

составляет 0,2–0,5 м/с, что соответствует нормативным значениям.

Распределение температур (рис. 2) при естественной системе вентиляции в теплый период года и температура внутреннего воздуха в зоне дыхания свиней, а также во всем корпусе в целом, не соответствует нормативным параметрам микроклимата. Наблюдается значительное превышение температуры воздуха внутри откормочного помещения до 35–40 °С в теплый период, что недопустимо. Распределение температур воздушных потоков внутри помещения для переходного и холодного периода года при естественной вентиляции также не соответствует требуемым параметрам микроклимата (рис. 2). Область холодного воздуха с температурой 10–13 °С находится в рабочей зоне пребывания животных и работающего персонала, что создает некомфортные условия.

Из рисунка 3 видно, для естественной системы вентиляции распределение скоростей воздушных потоков в рабочей зоне помещения лежит в допустимых пределах для теплого периода. Для холодного и переходного периода наблюдается несколько завышенная подвижность воздуха (0,5–0,6 м/с), что в совокупности с низкой температурой может провоцировать заболевания животных.

Таким образом, для обеспечения равномерного распределения температуры и подвижности внутреннего воздуха в рабочей зоне производственного помещения свинокомплекса необходимо организовать механическую приточно-вытяжную систему вентиляции с предварительной подготовкой воздуха, нагревая его в холодный период года и охлаждая в теплый период.

Выводы. Для производственных цехов животноводческих комплексов с большими выделениями тепла, влаги и газов расчет производительности системы вентиляции целесообразно производить по значениям избыточной влаги. Это соответствует требованиям зоогигиенического норматива, в противном случае часть влаги может выпадать в виде конденсата на холодных поверхностях ограждающих конструкций здания. Произведенный расчет производительности приточно-вытяжной системы вентиляции соответствует значениям нормативной кратности. Анализ моделей распределения воздушных потоков и температур в помещении откормочного цеха показал, что в холодный и теплый периоды года подачу наружного воздуха для более равномерного распределения параметров воздушного потока в зоне нахождения животных целесообразно проводить через приточные каналы механической вентиляции. Причем для обеспечения требуемых параметров воздуха внутри помещения

подготовку приточного воздуха предлагается проводить с использованием воздушного теплового насоса с антиобледенительной системой MOVEBIT, работающего как в режиме нагрева, так и охлаждения воздуха в зависимости от периода года.

Источник финансирования. Работа была реализована в рамках программы «Приоритет 2030» на базе Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова с использованием оборудования Центра высоких технологий при БГТУ им. В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Колесников М.С., Ильина Т.Н., Евраев Д.А. Анализ способов организации приточно-вытяжной вентиляции на свиноводческих комплексах. // XIV международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. Молодежь и научно-технический прогресс. г. Губкин. 2021 г. Том 1. С. 480–484.
2. Шведов В.В. Системы естественной вентиляции животноводческих помещений / Сер. «Механизация и электрофикация сельского хозяйства». ВАСХНИЛ; ВНИИТЭИ Агропром. М.: 1991. 44 с.
3. Храпцов В.В. Зоогигиена с основами проектирования животноводческих объектов. М.: КолосС, 2007. 376 с.
4. Фурсенко С.Н. Организация воздухообмена в помещениях для содержания КРС, свиней и птицы [Электронный ресурс]. URL: https://studref.com/362934/tehnika/organizatsiya_vozduhoobmena_pomescheniyah_soderzhaniya_sviney_ptitsy (дата обращения: 25.09.2022)
5. Миронов В.Н., Гордеев В.В., Миронова Т.Ю. Очистка воздуха животноводческого помещения в культивационных сооружениях // Вестник ВНИИМЖ. 2012. №4(8). С. 69–72.
6. СП 106.13330.2012 Животноводческие, птицеводческие и звероводческие здания и помещения.
7. РД-АПК 3.10.07.05-17 Ветеринарно-санитарные требования при проектировании, строительстве, реконструкции и эксплуатации животноводческих помещений.
8. РД-АПК 1.10.02.04-12 Методические рекомендации по технологическому проектированию свиноводческих ферм и комплексов.
9. Медведский В.А., Соколов Г.А., Трофимов А.Ф., Серяков И.С. Гигиена животных. Минск: Техноперспектива, 2009. 617 с.
10. Краснова В.Л., Хазанов Е.Е., Маркова А.Е., Гордеев В.В. Перспективные способы утили-

лизации вентиляционных выбросов животноводческих помещений // Сборник научных трудов СЗНИИМЭСХ. 2004. Вып. 76. С. 131–137.

11. Ильина Т.Н., Щедрина Ю.Е., Феокистов А.Ю., Колесников М.С., Евраев Д.А. Об экологической обстановке на территории свинокомплекса «Оскольский бекон-3» // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. №3. С. 32–41. doi:10.34031/2071-7318-2021-7-3-0-0.

12. Ильина Т.Н., Лесунова М.А., Божко Ю.В. Организация воздушного отопления в галереях животноводческих комплексов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. №1. С. 129–131.

13. Найдено В. К. Совершенствование технологий на свинофермах и свинокомплексах // Перспективное свиноводство: Теория и практика. 2011. №2. С. 6–15.

14. Кузнецов М.Ю., Гусева Ю.А. Основы проектирования ветеринарных учреждений и животноводческих объектов: учебно-методическое пособие. ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ». Саратов, 2017. 69 с.

15. Tolga U., Gulsah K., Onur V., Ali K. Performance analysis of a textile based solar assisted air source heat pump with the energy and exergy methodology // Sustainable Energy Technologies and Assessments. 2021. Vol. 47. doi: 10.1016/j.seta.2021.101534.

16. Mohanraj M., Karthick L., Dhivagar R. Performance and economic analysis of a heat pump water heater assisted regenerative solar still using latent heat storage // Applied Thermal Engineering. 2021. Vol. 196. doi:10.1016/j.applthermaleng.2021.117263.

17. Meghann S., Anthony B., Sheryl T., Pankaj L. Life cycle analysis (LCA) of residential ground source heat pump systems: A comparative analysis of energy efficiency in New Jersey // Sustainable Energy Technologies and Assessments. 2021. Vol. 47. doi:10.1016/j.seta.2021.101534.

18. Orlov P.A., Il'ina T.N., Orlov K.P. Promising methods of ice control of air heat pump evaporators. Innovations and Technologies in Construction (BUILDINTECH BIT 2021) // Journal of Physics: Conference Series. 2021. Vol. 1926. 012017. doi:10.1088/1742-6596/1926/1/012017.

19. Orlov P.A., Il'ina T.N., Orlov K.P. Test of heat pump unit with MOVEBIT anti-icing system // Constructions materials and productions. 2022. Vol. 5. No. 2. Pp. 43–50. doi: 10.58224/2618-7183-2022-5-2-43-50.

20. Алямовский А.А., Собачкин А.А., Одинцов Е.В., Харитонович А.И., Пономарев Н.Б. SolidWorks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике. СПб.: БХВ-Петербург, 2008. 1040 с.

Информация об авторах

Ильина Татьяна Николаевна, доктор технических наук, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: ilina50@rambler.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Колесников Максим Сергеевич, аспирант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: makskol97@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Крюков Илья Валерьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: iliya.kryukov@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Орлов Павел Анатольевич, аспирант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: orlov Pavel67@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 28.11.2022 г.

© Ильина Т.Н., Колесников М.С., Крюков И.В., Орлов П.А., 2023

**Il'ina T.N., Kolesnikov M.S., Kryukov I.V., Orlov P.A.
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
E-mail: ilina50@rambler.ru

ABOUT THE WAYS OF ENSURING VENTILATION IN WORKSHOPS LIVESTOCK COMPLEXES

Abstract. The methods of organization ventilation in livestock complexes are considered. Using the example of a fattening housing for 200 heads of a pig breeding complex, the methods of organizing a mechanical

supply and exhaust and natural ventilation system are shown. For this housing, the performance of the ventilation system is calculated by excess moisture and by the content of carbon dioxide in the room. It is established that it is advisable to produce the performance of the ventilation system according to the values of excess moisture, which meets the requirements of the zoo-hygienic standard. The calculation of the multiplicity of air exchange in the animal housing is made, which is 1.5 times and corresponds to the normative design indicators for pig farms. An aerodynamic calculation of the supply and exhaust ventilation systems is made, the number of supply and exhaust ducts for each system is determined, respectively. To visualize the process of air supply and distribution in the SolidWorks program, a model of air flows is built during the operation of a natural and supply and exhaust ventilation system for three cases when the outside air temperature is -20; 0; +20 ° C. It is shown that in warm and cold periods of the year it is advisable to supply prepared air through distribution channels of supply ventilation. To achieve the required parameters of the indoor air in the pig complex, it is proposed to prepare the supply air in the mechanical ventilation system using an air heat pump with the MOVEBIT anti-icing system.

Keywords: natural ventilation, supply and exhaust ventilation system, microclimate, pig complex, air flow distribution.

REFERENCES

1. Kolesnikov M.S., Il'ina T.N., Evraev D.A. Analysis of methods of organization of supply and exhaust ventilation at pig breeding complexes [Analiz sposobov organizacii pritochno-vytyazhnoj ventilyacii na svinovodcheskih kompleksah]. XIV International scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists. Youth and scientific and technological progress. 2021. Vol. 1. Pp. 480–484. (rus)
2. Shvedov V.V. Natural ventilation systems of livestock premises [Sistemy estestvennoj ventiljacii zhivotnovodcheskih pomeshhenij]. Ser. «Mechanizacija i jelektrofikacija sel'skogo hozjajstva». VASHNIL; VNIITJeI Agroprom. M.: 1991. 44 p. (rus)
3. Hramcov V.V. Zoo hygiene with the basics of designing livestock facilities [Zoogigiena s osnovami proektirovanija zhivotnovodcheskih ob#ektov]. M.: KolosS, 2007. 376 p. (rus)
4. Fursenko S.N. Organization of air exchange in premises for keeping cattle, pigs and poultry [Organizaciya vozduhoobmena v pomeshcheniyah dlya sodержaniya KRS, svinej i pticy]. URL: https://studref.com/362934/tehnika/organi-zatsiya_vozduhoobmena_pomescheniyah_soderzhaniya_sviney_ptitsy (date of treatment: 25.09.2022) (rus)
5. Mironov V.N., Gordeev V.V., Mironova T.YU. Air purification of livestock premises in cultivation facilities [Ochistka vozduha zhivotnovodcheskogo pomeshcheniya v kul'tivacionnyh sooruzheniyah]. Bulletin of VNIIMZH. 2012. No. 4(8). Pp. 69–72. (rus)
6. SP 106.13330.2012 Livestock, poultry and animal husbandry buildings and premises [Zhivotnovodcheskie, pticevodcheskie i zverovodcheskie zdaniya i pomeshhenija]. (rus)
7. RD-APK 3.10.07.05-17 Veterinary and sanitary requirements in the design, construction, reconstruction and operation of livestock facilities [Veterinarno-sanitarnye trebovaniya pri proektirovanii, stroitel'stve, rekonstrukcii i jekspluatacii zhivotnovodcheskih pomeshhenij]. (rus)
8. RD-APK 1.10.02.04-12 Methodological recommendations on technological design of pig farms and complexes [Metodicheskie rekomendacii po tehnologicheskomu proektirovaniju svinovodcheskih ferm i kompleksov]. (rus)
9. Medvedskij V.A., Sokolov G.A., Trofimov A.F., Seryakov I.S. Animal hygiene [Gigiena zhivotnyh]. Minsk: Technoperspectiva. 2009. 617 p. (rus)
10. Krasnova V.L., Hazanov E.E., Markova A.E., Gordeev V.V. Perspective methods of utilization of ventilation emissions of livestock premises [Perspektivnye sposoby utilizacii ventilyacionnyh vybrosov zhivotnovodcheskih pomeshchenij]. Collection of scientific papers of the NWNIMESH. 2004. Issue. 76. Pp. 131–137. (rus)
11. Il'ina T.N., Shhedrina Ju.E., Feoktistov A.Ju., Kolesnikov M.S., Evraev D.A. About the ecological situation on the territory of the Oskolsky Bacon-3 pig complex [Ob jekologicheskoj obstanovke na territorii svinokompleksa «Oskol'skij bekon-3»]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 3. Pp. 32–41. doi:10.34031/2071-7318-2021-7-3-0-0 (rus)
12. Il'ina T.N., Lesunova M.A., Bozhko YU.V. Organization of air heating in galleries of livestock complexes [Organizaciya vozdušnogo otopeniya v galereyah zhivotnovodcheskih kompleksov]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2010. No. 1. Pp. 129–131. (rus)
13. Najdenko V.K. Improvement of technologies on pig farms and pig complexes [Sovershenstvovanie tekhnologij na svinofermah i svinokompleksah]. Perspective pig breeding: Theory and practice. 2011. No. 2. Pp. 6–15. (rus)
14. Kuznecov M.Ju., Guseva Ju.A. Fundamentals of designing veterinary institutions and livestock facilities [Osnovy proektirovanija veterinarnyh

uchrezhdenij i zhivotnovodcheskih ob#ektov]. Uchebno-metodicheskoe posobie. FGBOU VO «Saratovskij GAU». Saratov. 2017. 69 p. (rus)

15. Tolga U., Gulsah K., Onur V., Ali K. Performance analysis of a textile based solar assisted air source heat pump with the energy and exergy methodology. Sustainable Energy Technologies and Assessments. 2021. Vol. 47. doi: 10.1016/j.seta.2021.101534.

16. Mohanraj M., Karthick L., Dhivagar R. Performance and economic analysis of a heat pump water heater assisted regenerative solar still using latent heat storage. Applied thermal Engineering. 2021. Vol. 196. doi:10.1016/j.applthermaleng.2021.117263.

17. Meghann S., Anthony B., Sheryl T., Pankaj L. Life cycle analysis (LCA) of residential ground source heat pump systems: A comparative analysis

of energy efficiency in New Jersey. Sustainable Energy Technologies and Assessments. 2021. Vol. 47. doi:10.1016/j.seta.2021.101534.

18. Orlov P.A., Il'ina T.N., Orlov K.P. Promising methods of ice control of air heat pump evaporators. Innovations and Technologies in Construction (BUILDINTECH BIT 2021). Journal of Physics: Conference Series. 2021. Vol. 1926. 012017. Belgorod. doi:10.1088/1742-6596/1926/1/012017. (rus)

19. Orlov P.A., Il'ina T.N., Orlov K.P. Test of heat pump unit with MOVEBIT anti-icing system. Constructions materials and productions. 2022. Vol. 5. No. 2. Pp. 43–50. doi:10.58224/2618-7183-2022-5-2-43-50. (rus)

20. Aljamovskij A.A., Sobachkin A.A., Odincov E.V., Haritonovich A.I., Ponomarev N.B. SolidWorks 2007/2008. Computer modeling in engineering practice [SolidWorks 2007/2008. Komp'yuternoe modelirovanie v inzhenernoj praktike]. SPb.: BHV-Peterburg. 2008. 1040 p. (rus)

Information about the authors

Il'ina, Tat'yana N. DSc, Professor. E-mail: ilina50@rambler.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Kolesnikov, Maksim S. Postgraduate student. E-mail: makskol97@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Kryukov, Ilya V. PhD, Assistant professor. E-mail: iliya.kryukov@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Orlov, Pavel A. Postgraduate student. E-mail: orlovpavel67@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 28.11.2022

Для цитирования:

Ильина Т.Н., Колесников М.С., Крюков И.В., Орлов П.А. О способах обеспечения воздухообмена в цехах животноводческих комплексов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. № 3. С. 46–55. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-3-46-55

For citation:

Il'ina T.N., Kolesnikov M.S., Kryukov I.V., Orlov P.A. About the ways of ensuring ventilation in workshops livestock complexes. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2023. No. 3. Pp. 46–55. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-3-46-55