

4.3.2. ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ, ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)

Научная статья

УДК 620.91: 620.953

DOI: 10.53914/issn2071-2243_2024_1_152

EDN: RRZFXO

Обоснование выбора места размещения устройства для нагрева воды, работающего за счет низкопотенциальной тепловой энергии, выделяемой сельскохозяйственными животными

Юлия Михайловна Дулепова^{1✉}, Дмитрий Евгеньевич Дулепов²,
Алина Алексеевна Александрова³, Александр Сергеевич Серебряков⁴,
Владимир Леонидович Осокин⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} Нижегородский государственный инженерно-экономический университет»,
Княгинино, Россия

¹ makjul92@mail.ru✉

Аннотация. Сельское хозяйство относится к энергоемким отраслям, в которых электрическая энергия расходуется в больших количествах (работа различного оборудования, освещение, вентиляция, подогрев воды и др.), в связи с чем возникает потребность в более экономном ее использовании. Одним из аспектов проделанной работы является анализ энергосберегающих средств для подогрева воды для нужд животноводческих объектов, которые бы обеспечили снижение энергозатрат и, как следствие, энергоемкости и себестоимости сельскохозяйственной продукции. Представлены результаты проведенной аналитической работы по выбору устройства для нагрева воды, работающего за счет тепловой энергии, выделяемой животными в атмосферный воздух животноводческого помещения, и определению рационального места его размещения. Предложено использовать устройство, которое не предусматривает использование электрической энергии для нагрева воды, а работает за счет тепловой энергии КРС. В коровниках нагревается достаточно большой объем воздуха, поэтому требуется описать картину движения нагретой воздушной массы в распределенных слоях помещения. Чтобы упростить расчет, была представлена визуализация распространения нагретого воздуха в помещении на основе полученных опытных данных и данных тепло-визионной съемки. Для определения характера движения воздуха были составлены проекции вектора скорости течения воздуха, введено поле значений показателей для описания отклонения температур. Рассчитаны параметры воздуха в коровнике на разных уровнях, а также критерии Рэлея и Нуссельта. Выполненный теоретический анализ условий теплообмена в животноводческом помещении позволяет сделать вывод, что предпочтителен вариант размещения устройства для нагрева воды, работающего за счет тепловой энергии, выделяемой крупным рогатым скотом, на высоте от 4,2 до 5,5 м от пола в верхнем слое, так как температура воздуха на этой высоте достаточна для нагрева питьевой воды до необходимого значения температуры – +10 °С.

Ключевые слова: животноводческое помещение, крупный рогатый скот (КРС), питьевая вода, устройство для нагрева воды, тепловая энергия животных, принцип энергосбережения, теплообмен

Для цитирования: Дулепова Ю.М., Дулепов Д.Е., Александрова А.А., Серебряков А.С., Осокин В.Л. Обоснование выбора места размещения устройства для нагрева воды, работающего за счет низкопотенциальной тепловой энергии, выделяемой сельскохозяйственными животными // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2024. Т. 17, № 1(80). С. 152–161. https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2024_1_152-161.

4.3.2. ELECTROTECHNICS, ELECTRICAL EQUIPMENT AND ELECTRICAL POWER SUPPLY FOR AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX (ENGINEERING SCIENCES)

Original article

Justification of selection of the location of a heating water device operating by force of low-grade thermal energy released by farm animals

Yulia M. Dulepova^{1✉}, Dmitry E. Dulepov², Alina A. Aleksandrova³,
Aleksandr S. Serebryakov⁴, Vladimir L. Osokin⁵

¹ Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, Knayginino, Russia

¹ makjul92@mail.ru✉

Abstract. Agriculture belongs to energy-intensive industries in which electric energy is discharged in large quantities (operation of various equipment, lighting, ventilation, water heating, etc.), and therefore there is a need for wide application of energy saving practices. One of the aspects of the conducted research was the analysis of energy-saving means for heating water for livestock facilities, which would ensure a reduction in energy consumption and, as a result, energy intensity and cost of agricultural products. The results of the analytical work carried out on the selection of a device for heating water operating by force of low-grade thermal energy released by animals into the atmospheric air of the livestock houses, and determining its optimal location are presented. It is proposed to use a device that does not provide for the use of electric energy for heating water, but operate by force of low-grade thermal energy released by cattle. Given that a sufficiently vast amount of air in cowsheds is heated by force of herded animals, it is necessary to describe the pattern of heated air mass motion in the distributed layers within the housing. To simplify the calculation, a visualization of the distribution of heated indoor air was presented based on the experimental data and thermal imaging data. To determine the pattern of air motion, projections of the air velocity vector were developed, and a field of values of indicators was introduced to describe temperature deviations. The parameters of the air in the cowshed at different levels, as well as the Rayleigh and Nusselt criteria were calculated. The theoretical analysis of the conditions of heat exchange in the livestock house allows for the conclusion that the preferred option is to place a device for heating water operating by force of low-grade thermal energy released by cattle, at a height of 4.2 to 5.5 m from the floor in the upper layer, since the air temperature at this height is sufficient to heat drinking water to the required temperature values equal to +10 °C.

Keywords: livestock premises, cattle, drinking water, device for heating water, thermal energy of animals, principle of energy saving, heat exchange

For citation: Dulepova Yu.M., Dulepov D.E., Aleksandrova A.A., Osokin V.L. Justification of selection of the location of a heating water device operating by force of low-grade thermal energy released by farm animals. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2024;17(1):152-161. (In Russ.). https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2024_1_152-161.

Сельскохозяйственное производство в настоящее время является крупным потребителем топливно-энергетических ресурсов. Значительную долю в потребляемых в сельском хозяйстве энергоресурсах занимает электрическая энергия, которая расходуется на необходимые технологические нужды [15]. Сельское хозяйство относится к энергоемким отраслям. Электрическая энергия расходуется на обеспечение работы навозоуборочных транспортеров, освещение, обеспечение оптимального микроклимата в помещениях, на вентиляцию, на автоматизированные доильные установки, подогрев воды и др. Растущая тенденция старения теплоэнергетического оборудования на животноводческих фермах наблюдается продолжительное время. Отмечается характерная связь между производством продукции с энергозатратами, доля которых в ее себестоимости возросла с 5 до 30% и более. Прежде всего это вызвано ускоренным ростом тарифов и цен на электроэнергию и топливо по сравнению с ценами на с.-х. продукцию, применением морально и физически устаревших технических средств [15].

На животноводческих предприятиях возникает потребность в более строгом и экономном использовании электрической энергии. Одним из аспектов проделанной работы, является анализ энергосберегающих средств для подогрева воды для нужд животноводческих объектов, которые бы обеспечили снижение энергозатрат и, как следствие, энергоемкости и себестоимости сельскохозяйственной продукции.

Правильное использование энергосберегающих устройств – залог их эффективной и долговечной работы и экономии денежных средств, поэтому прежде всего необходимо выяснить, подходит ли то или иное устройство к конкретным условиям производства. Если подходит, то определить условия его работы, в которых будет достигнут максимальный эффект по сокращению потребления энергоресурсов.

Авторами выполнено обоснование выбора места размещения устройства для нагрева воды [13], работающего за счет низкопотенциальной тепловой энергии, выделяемой животными, в частности крупным рогатым скотом, в атмосферный воздух животноводческого помещения. Иными словами, устройство превращает тепло, выделяемое телами животных, в осязаемый тепловой ресурс, который можно применить для нагрева воды.

Предлагаемое устройство является простым в изготовлении. Поверхность теплообмена трубы увеличена за счет оребрения двумя пластинами, которые привариваются сваркой к трубе. У теплообменной трубы всего два ребра, так как большое количество сварных швов уменьшит надежность устройства. Предложена облегченная конструкция с целью снижения металлоемкости установки, а значит, затрат на изготовление. В системе нагрева с таким устройством не предусматривается применение теплового насоса, тем самым исключается использование электрической энергии.

Предлагаемое устройство для нагрева воды размещается в верхней части помещения для содержания крупного рогатого скота (рис. 1), в том месте, где регистрируется его наибольшая нагревательная способность. Устройство выполняется в виде круглой трубы 1, которая сварена по контуру прямоугольника и имеет ввод 4, через который поступает холодная вода, и вывод 5, через который нагретая вода перетекает в накопительную емкость, а дальше распределяется по потребителям. Вдоль трубы с обеих ее сторон параллельно линии пола привариваются точечной сваркой ребра 2, позволяющие увеличить площадь нагрева и, как следствие, ускорить время нагрева воды в устройстве (рис. 2). Изготовление конструкции осуществляется для каждого помещения индивидуально, в зависимости от его геометрических размеров.

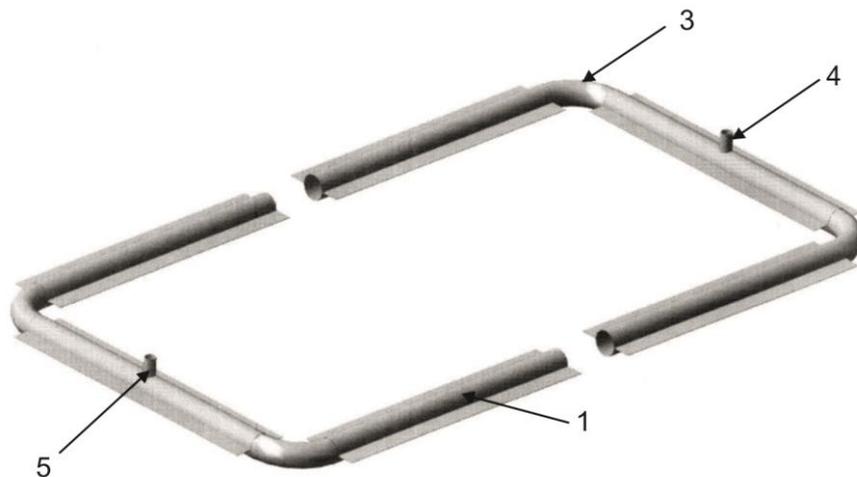


Рис. 1. Общий вид конструкции устройства для нагрева воды

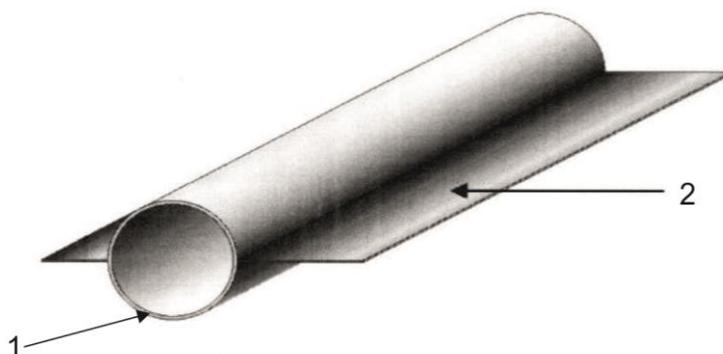


Рис. 2. Оребренная труба устройства для нагрева воды:
1 – фрагмент теплообменной трубы; 2 – пластина оребрения

На рисунке 3 показано определяемое расчетным методом место размещения предлагаемого устройства для нагрева воды.



Рис. 3. Предполагаемое место размещения устройства для нагрева воды в животноводческом помещении, рассчитанном для содержания 400 голов КРС

Для того чтобы найти место концентрации максимальной температуры, необходимо учесть достаточно много факторов: материал, из которого будет изготовлено устройство, протяженность трубы, ширина полос оребрения и параметры воздуха, в котором будет размещено устройство [3, 8, 9].

Результаты, полученные в ходе проведения исследования, позволили установить следующее:

1) в качестве материала трубы следует использовать нержавеющую пищевую сталь, поскольку нагреваемая вода предназначена для поения животных;

2) протяженность установки (длина) зависит от объема воды, которая необходима животным, чтобы утолить жажду за час, и от количества животных. Например, для поголовья в 400 коров длина теплообменного устройства должна быть не менее 599 м. Если потребуются увеличить объем нагреваемой воды, то это можно сделать за счет разъемных конструктивных элементов устройства для нагрева воды;

3) ширина оребрения трубы составляет 35 мм. Этого достаточно, чтобы нагреть необходимое количество воды до заданной температуры, среднее значение которой составляет +10 °С.

Авторами был выполнен анализ процесса теплообмена на разных уровнях животноводческого помещения с использованием значений температуры внутреннего воздуха помещения во множестве точек, полученных в ходе проведения тепловизионной съемки.

Анализ тепловых потоков в помещении для содержания КРС позволяет понять, каким образом движется нагретый воздух в помещении, что, в свою очередь, дает возможность выбрать место для размещения устройства для нагрева воды, использующего тепловую энергию, выделяемую животными. К помещениям для содержания крупного рогатого скота предъявляется большое количество требований с целью создания лучших условий [10, 11]. Одним из параметров, обеспечивающих высокую продуктивность КРС,

является температура. Если рассматривать помещение в целом, то становится очевидным, что на разных уровнях воздух имеет разную температуру (рис. 4). В слоях воздуха, где непосредственно находятся животные, температура ниже, чем в слоях, которые находятся ближе к потолку, причем с увеличением высоты ее величина будет пропорционально возрастать. Теплообмен возникает, когда нагретые животными воздушные потоки, имея меньшую плотность, поднимаются вверх за счет конвекции, а на их место приходят холодные воздушные массы большей плотности.

Была построена диаграмма распределения температуры внутри помещения для содержания крупного рогатого скота, рассчитанного на 400 голов и имеющего размеры $21 \times 115 \times 7$ м (рис. 4).

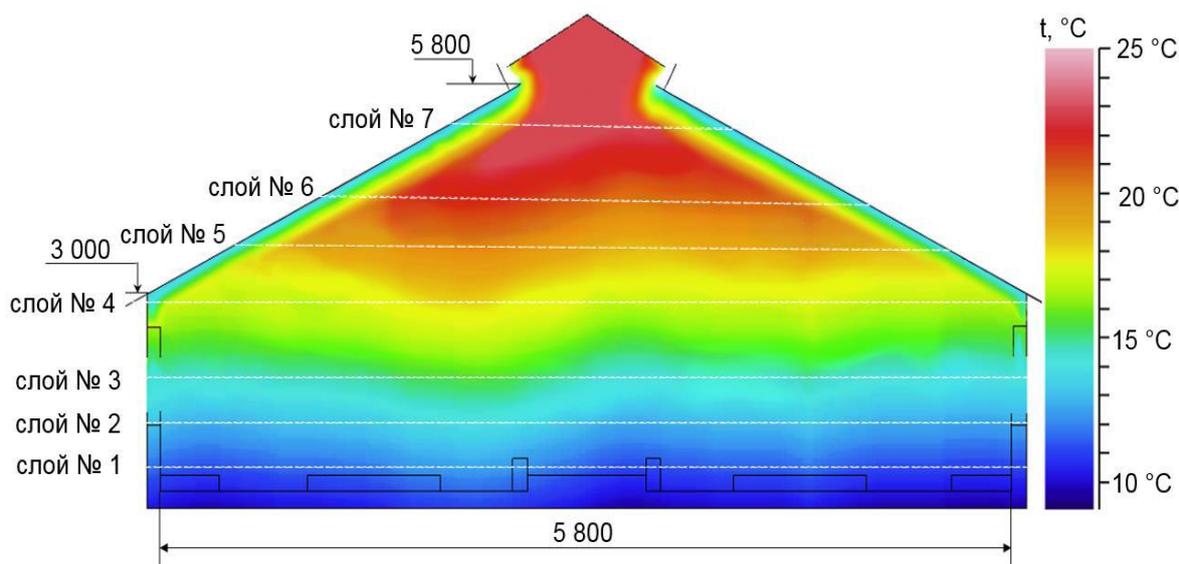


Рис. 4. Результаты изменения температуры воздуха внутри помещения

Температурные данные нужно разделить по уровням, которые характеризуются высотой и шириной. Для упрощения расчетов приняли, что длина каждого слоя одинакова, а температуру в слое учитываем ту, что является преобладающей согласно диаграмме (рис. 4).

При выполнении анализа для выяснения преобладающего течения воздуха в горизонтальном уровне использовали систему Лоренца, с помощью которой можно установить, что воздушная среда находится:

- 1) в состоянии покоя, когда нормированное число Рэлея $r < 1$;
- 2) в режиме стационарной циркуляции против или по часовой стрелке при $r < 1$, $\sigma < \sigma^*$;
- 3) в режиме турбулентного движения при некотором критическом значении внешнего управляющего параметра r^* (σ , b).

Исходя из принятых допущений получается двумерное пространство, для которого, следуя уравнениям Лоренца, проекции вектора скорости течения воздуха запишутся в виде следующих выражений [7, 12]:

$$\begin{aligned} u &= \frac{\partial \psi}{\partial x}; \\ w &= \frac{\partial \psi}{\partial y}, \end{aligned} \quad (1)$$

где ψ – функция тока двумерного движения, т.е. компоненты скорости ($u = (u, w)$);

u, w – проекции вектора скорости v на осях x и y .

Для описания отклонения температур введем поле значений $\Theta(x, y, t)$, воспользовавшись которым, получаем следующее уравнение:

$$t_B(x, y, t) = T_0 + \Delta T - \frac{\Delta T}{h} y + \Theta(x, y, t), \quad (2)$$

где t_B – температура воздуха, °С;

T_0 – начальное значение температуры воздуха, °С;

ΔT – разность температуры верхнего и нижнего воздушных уровней, °С;

h – высота конвективной ячейки (слоя), м.

После применения выражений (1) и (2) уравнения давления, температуры и зависимости плотности воздуха от температуры можно представить в следующем виде:

$$-\frac{\partial(\psi, \nabla^2 \psi)}{\partial(x, y)} + \nu \nabla^2(\nabla^2 \psi) + gL \frac{\partial \Theta}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial t} \nabla^2 \psi; \quad (3)$$

$$-\frac{\partial(\psi, \Theta)}{\partial(x, y)} + \frac{\Delta T}{h} \frac{\partial \psi}{\partial x} + k \nabla^2 \Theta = \frac{\partial}{\partial t} \Theta, \quad (4)$$

где ∇ – векторный оператор Гамильтона;

k – коэффициент температуропроводности воздуха, м²/с.

На основании результатов масштабных исследований, выполненных Лоренцом, эти уравнения приводятся к дифференциальной форме [12], что позволяет значительно упростить расчеты. Тогда, для описания развития конвекции в горизонтальном слое воздуха, записываем следующее:

- интенсивность конвекции \dot{X} (скорость вращения конвективных валов) [4]:

$$\dot{X} = \sigma(Y - X), \quad (5)$$

где σ – число Прандтля, определяемое через соотношение коэффициента кинематической вязкости ν к коэффициенту температуропроводности;

- разность температур между восходящим и нисходящим потоками \dot{Y} (распределение температур по горизонтали) [4]:

$$\dot{Y} = -XZ + rX - Y, \quad (6)$$

где r – нормированное число Рэлея, определяющееся через соотношение числа Рэлея R к критическому числу Рэлея R_c ;

- отклонение вертикального температурного профиля от линейного \dot{Z} (распределение температур по вертикали) [4]:

$$\dot{Z} = XY - bZ, \quad (7)$$

где b – геометрический фактор, определяется размерами конвекционной ячейки – h вертикальным и l горизонтальным:

$$b = \frac{4}{(1+a^2)} = \frac{4}{1+\left(\frac{h}{l}\right)^2}, \quad (8)$$

где h – высота конвективной ячейки (слоя), м;

a – ширина слоя, м;

l – длина слоя, м.

Полученные уравнения при сравнении с экспериментальными данными покажут достоверную картину развития движения нагретой воздушной массы в распределенных слоях помещения (рис. 2).

Для описания характера движения воздуха внутри помещения для содержания коров необходимо знать размеры каждого слоя, внутреннюю температуру и изменение плотности воздуха. Данные по этим параметрам приведены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры слоев воздуха внутри животноводческого помещения

Слой	1	2	3	4	5	6	7
Ширина слоя, a , м	20	20	20	20	20	14,81	11,68
Высота слоя, h , м	0,44	0,61	0,63	1,08	0,88	0,57	1,27
Длина слоя, l , м	100	100	100	100	100	100	100
Внутренняя температура, t_i , °С	10,5	12	13,1	15,9	19	21	23,1
Плотность внутреннего воздуха, ρ , г/м ³	1,25	1,25	1,25	1,23	1,23	1,21	1,21

Далее, для того чтобы описать, как в каждом слое ведет себя воздух под воздействием градиента температуры, рассчитывается нормированное число Рэлея по формуле

$$R = \frac{g \gamma h^3 \Delta T}{\nu k} = \frac{9,81 \cdot 3,665 \cdot 10^{-3} \cdot 0,44^3 \cdot 6}{0,141 \cdot 10^{-4} \cdot 2,01 \cdot 10^{-5}} = 648,13, \quad (9)$$

где g – ускорение силы тяжести, м/с²;

γ – коэффициент теплового расширения воздуха, К⁻¹;

h – высота конвективной ячейки (слоя), м;

ΔT – разность температуры верхнего и нижнего воздушных слоев, °С;

ν – кинематическая вязкость воздуха, м²/с;

k – коэффициент теплопроводности, м²/с.

В каждом слое воздуха рассматриваем, как изменяется коэффициент теплопроводности k , м²/с [1, 14]:

$$k = \frac{\lambda}{\rho c}, \quad (10)$$

где λ – теплопроводность, 252·10⁻⁴ Вт/(м·К);

ρ – плотность воздуха, при температуре воздуха 10 °С составит 1,247 кг/м³;

c – теплоемкость воздуха, в каждом слое составит 1005 Дж/(кг·К).

Тогда

$$k = \frac{252 \cdot 10^{-4}}{1,247 \cdot 1005} = 2,01 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Чтобы отследить динамику рассматриваемых потоков воздуха, определяется значение критического числа Рэлея, которое является точкой бифуркации [5, 12]:

$$R_c = \frac{\pi^4}{\left(\frac{h}{a}\right)^2} \left(1 + \left(\frac{h}{a}\right)^2\right)^4 = \frac{\pi^4}{\left(\frac{0,44}{20}\right)^2} \left(1 + \left(\frac{0,44}{20}\right)^2\right)^4 = 201239,8, \quad (11)$$

где h – высота конвективной ячейки (слоя), м;

a – ширина слоя, м.

Режим течения нагретого воздуха, преобладающего в горизонтальных слоях, определяется по нормированному числу Рэлея, рассчитываемому по следующей формуле:

$$r = \frac{R}{R_c} = \frac{648,13}{201239,8} = 0,003. \quad (12)$$

Результаты расчетов представлены в таблице 2 по каждому отмеченному на рисунке 2 слою.

Таблица 2. Результаты расчета критерия Рэлея

Слой	1	2	3	4	5	6	7
λ , Вт/(м·К)	0,0252	0,0253	0,0253	0,0254	0,0256	0,0259	0,026
k , (м ² /с)·10 ⁻⁵	2,0108	2,0108	2,0108	2,0615	2,0777	2,1387	2,1469
ΔT , °С	6	1,5	1,1	2,8	3,1	2	2,1
R	648,13	421,64	349,41	4368,97	2604,19	445,80	5101,74
Rc	201239,8	106274,1	97988,26	33697,06	50454,61	65568,43	8630,157
r	0,003	0,004	0,004	0,130	0,052	0,007	0,591

На следующем этапе выполнялась оценка интенсивности теплообмена между устройством для нагрева воды и нагретым крупным рогатым скотом воздухом. Для этого вводится еще один параметр – критерий Нуссельта:

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda}, \quad (13)$$

где α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К);
 l – определяющий (характерный) размер, м;
 λ – теплопроводность, Вт/(м·К).

Согласно исследованиям, результаты которых представлены в [2, 6], интенсивность теплообмена при свободной конвекции около горизонтальных труб, горизонтальных пластин определяется по следующей формуле

$$\overline{Nu}_{f,d} = 0,5 \cdot Ra_{f,d}^{0,25} \cdot \varepsilon_t, \quad (14)$$

где $\overline{Nu}_{f,d}$ – критерий Нуссельта;
 Ra – критерий Рэлея;
 ε_t – поправка, учитывающая зависимость физических свойств текучей среды от температуры, определяемая по следующему выражению:

$$\varepsilon_t = \left(\frac{Pr_f}{Pr_w} \right)^{0,25}, \quad (15)$$

где Pr_f – число Прандтля, принимаемое по справочным данным для текучей среды при определяющей температуре флюида;

Pr_w – критерий Прандтля, но уже для текучей среды при определенной температуре стенки, определяют также по справочным данным.

Результаты вычисления критерия Нуссельта по формуле 14 представлены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты вычисления критерия Нуссельта

Слой	1	2	3	4	5	6	7
ε_t	0,52	0,52	0,54	0,54	0,56	0,56	0,56
Pr_f	0,676	0,676	0,676	0,676	0,678	0,678	0,678
Pr_w	9,52	9,52	8,24	8,24	7,02	7,02	7,02
$\overline{Nu}_{f,d}$	1,30	1,17	1,16	2,18	1,99	1,28	2,36

Анализ данных, представленных в таблицах 2 и 3, позволяет сформулировать следующие выводы:

- в каждом слое, отмеченном на рисунке 4, наблюдается отсутствие турбулентного движения воздушной массы, т. е. движение нагретого воздуха будет спокойным, устойчивым;

- в двух последних, верхних слоях (слои 6 и 7) коэффициент температуропроводности воздуха выше, чем в первых пяти;

- в слоях 4, 5 и 7 интенсивность теплообмена между устройством для нагрева воды и нагретым крупным рогатым скотом воздухом будет выше, чем в остальных слоях, так как в них критерий Нуссельта имеет максимальное значение.

На основании проведенного теоретического анализа условий теплообмена в животноводческом помещении можно прийти к заключению, что предпочтительным является вариант размещения устройства для нагрева воды, работающего за счет тепловой энергии, выделяемой крупным рогатым скотом, на высоте от 4,2 до 5,5 м от пола в верхнем слое по следующим причинам:

1) температура воздуха на этой высоте достаточна для нагрева до минимального значения температуры питьевой воды – +10 °С;

2) в указанном месте критерий Нуссельта, характеризующий интенсивность теплообмена при свободной конвекции около горизонтальных труб, значительно выше и составляет 2,36;

3) коэффициент температуропроводности в указанном месте выше, чем в других, и составляет $2,1469 \cdot 10^{-5}$ (м²/с).

Список источников

1. Бирюков В.В. Теплообменные конденсационные системы вентиляции животноводческих помещений: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.03. Ростов н/Дону, 2005. 145 с.
2. Гортышов Ю.Ф., Попов И.А., Олимпиев В.В. и др. Теплогидравлическая эффективность перспективных способов интенсификации теплоотдачи в каналах теплообменного оборудования. Интенсификация теплообмена: монография. Казань: Казанский государственный технический университет, 2009. 530 с.
3. Дулепова Ю.М., Дулепов Д.Е., Александрова А.А. и др. Новый методический подход к расчетам конструкции энергосберегающего устройства для нагрева воды, предназначенной для поения животных // Аграрная наука. 2022. № 11. С. 117–121. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-364-11-117-121. EDN: RANXQM.
4. Дулепова Ю.М. Разработка и исследование энергосберегающего устройства для нагрева воды, работающего от теплоты крупного рогатого скота: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02. Княгинино, 2022. 171 с.
5. Капустин В.Н. Повышение эффективности системы естественной вентиляции в помещениях для крупного рогатого скота путем автоматического регулирования расхода воздуха: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. Барнаул, 2011. 165 с.
6. Лаптев А.Г., Николаев Н.А., Башаров М.М. Методы интенсификации и моделирования тепло-массообменных процессов: учебно-справочное пособие. Москва: Теплотехник, 2011. 335 с.
7. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. Ленинград: Гидрометеиздат, 1984. 752 с.
8. Медведский В.А., Щебеток И.В., Рубина М.В. и др. Нормативные ветеринарно-санитарные и гигиенические требования в животноводстве: методические указания. Витебск: ВГАВМ, 2019. 348 с.
9. Нурминский И.Н. Применение подогрева и циркуляции воды в установках для поения скота посредством автопоилок: дис. ... канд. техн. наук: 05.00.00. Улан-Удэ, 1953. 162 с.
10. РД-АПК 1.10.01.01-18. Методические рекомендации по технологическому проектированию ферм и комплексов крупного рогатого скота. Москва: ФГБНУ «Росинформагротех», 2018. 167 с.
11. Сайтов В.Е., Котюков А.Б. Санитарно-гигиенические требования к питьевой воде для сельскохозяйственных животных // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 6-5. С. 830–832.
12. Табор М. Хаос и интегрируемость в нелинейной динамике; пер. с англ.; науч. ред. В.А. Журавлев. Москва: Эдиториал УРСС, 2001. 320 с.
13. Устройство для нагрева воды: патент 2684293 Рос. Федерация. № 2016126650; заявл. 01.07.2016; опубл. 05.04.2019, Бюл. № 10. 7 с.
14. Фокин В.М., Бойков Г.П., Видин Ю.В. Основы технической теплофизики: монография. Москва: Машиностроение-1, 2004. 172 с.
15. Энергосбережение в сельском хозяйстве [Электронный ресурс] // ЭЛЕКТРО. Ключевая коммуникативная платформа международного уровня. URL: <https://www.elektro-expo.ru/ru/articles/energoberezhenie-v-selskom-hozyaystve/> (дата обращения: 18.10.2023).

References

1. Biryukov V.V. Heat exchange condensation ventilation systems for livestock premises: Candidate Dissertation in Engineering Sciences: 05.23.03. Rostov on Don; 2005. 145 p. (In Russ.).
2. Gortyshev Yu.F., Popov I.A., Olimpiev V.V. et al. Thermohydraulic efficiency of promising methods for intensifying heat transfer in the channels of heat exchange equipment. Heat transfer intensification: monograph. Kazan: Kazan State Technological University Publishers; 2009. 531 p. (In Russ.).

3. Dulepova Yu.M., Dulepov D.E., Aleksandrova A.A. et al. New methodological approach to calculations for design of energy-saving device for heating water intended for livestock watering. *Agrarian Science*. 2022;1(11):117-121. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-364-11-117-121. (In Russ.)
4. Dulepova Yu.M. Development and investigation of an energy-saving device for heating water working on the heat of cattle: Candidate Dissertation in Engineering Sciences: 05.20.02. Knyaginino; 2022. 171 p. (In Russ.)
5. Kapustin V.N. Increasing the efficiency of natural ventilation systems in cattle sheds by automatically controlling air flow: Candidate Dissertation in Engineering Sciences: 05.20.01. Barnaul; 2011. 165 p. (In Russ.)
6. Laptsev A.G., Nikolaev N.A., Basharov M.M. Methods of intensification and modeling of heat and mass transfer processes. Educational and Reference Manual. Moscow: Teplotekhnika Publishers; 2011. 335 p. (In Russ.)
7. Matveev L.T. General meteorology course. Atmospheric physics. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1984. 752 p. (In Russ.)
8. Medvedsky V.A., Shchebetok I.V., Rubina M.V. et al. Regulatory veterinary, sanitary and hygienic requirements in animal husbandry: instructive and methodological publication. Vitebsk: Vitebsk State Veterinary Medicine Academy Publishers; 2019. 348 p. (In Russ.)
9. Nurminskiy I.N. Application of heating and circulation of water in installations for cattle drinking by means of automatic water feeder: Candidate Dissertation in Engineering Sciences: 05.00.00. Ulan-Ude; 1953. 162 p. (In Russ.)
10. RD-APK 1.10.01.01-18. Methodological recommendations for process engineering of cattle farms and complexes. Moscow: Rosinformagrotech Publishers; 2018. 167 p. (In Russ.)
11. Saitov V.E. Hygiene requirements to drinking water for farm animals. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2016;6(5):830-832. (In Russ.)
12. Tabor M. Chaos and integrability in nonlinear dynamics; translated from English; scientific ed. V.A. Zhuravlev. Moscow: Editorial URSS Publishers; 2001. 318 p. (In Russ.)
13. Device for water heating; Patent 2684293 Russian Federation. No. 2016126650; claimed 01.07.2016; published 05.04.2019, Bulletin 10. 7 p. (In Russ.)
14. Fokin V.M., Boikov G.P., Vidin Yu.V. Fundamentals of Engineering Thermophysics: monograph. Moscow: Mashinostroenie-1 Publishers; 2004. 172 p. (In Russ.)
15. Energy saving in agriculture. ELECTRO. A Key International Communication Platform. URL: <https://www.elektro-expo.ru/ru/articles/energoberezhenie-v-selskom-hozyaystve>. (In Russ.)

Информация об авторах

Ю.М. Дулепова – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрификация и автоматизация» ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», makjul92@mail.ru.

Д.Е. Дулепов – кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой «Электрификация и автоматизация» ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», dulepov.86@mail.ru.

А.А. Александрова – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрификация и автоматизация» ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», aliexandrova_1990@mail.ru.

А.С. Серебряков – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Электрификация и автоматизация» ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», a.sereb@mail.ru.

В.Л. Осокин – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Электрификация и автоматизация» ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», osokinvl@mail.ru.

Information about the authors

Yu.M. Dulepova, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Electrification and Automation, Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, makjul92@mail.ru.

D.E. Dulepov, Candidate of Engineering Sciences, Docent, Head of the Dept. of Electrification and Automation, Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, dulepov.86@mail.ru.

A.A. Aleksandrova, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Electrification and Automation, Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, aliexandrova_1990@mail.ru.

A.S. Serebryakov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Dept. of Electrification and Automation, Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, a.sereb@mail.ru.

V.L. Osokin, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Electrification and Automation, Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, osokinvl@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 20.12.2023; одобрена после рецензирования 26.01.2024; принята к публикации 01.02.2024.

The article was submitted 20.12.2023; approved after reviewing 26.01.2024; accepted for publication 01.02.2024.

© Дулепова Ю.М., Дулепов Д.Е., Александрова А.А., Серебряков А.С., Осокин В.Л., 2024