

DOI: 10.21122/1029-7448-2017-60-2-176-186

УДК 697.112.3; 536.2

Решение задачи использования подземной воды для охлаждения животноводческих помещений

Тхай Нгок Шон¹⁾, Во Ти Тинь¹⁾

¹⁾ Политехнический институт Данангского университета (Дананг, Социалистическая Республика Вьетнам)

© Белорусский национальный технический университет, 2017
Belarusian National Technical University, 2017

Реферат. Температура наружного воздуха в Центральной части Вьетнама в летнее время может достигать 32–35 °С, в некоторых местах – выше 42 °С. Такие температуры сильно влияют на общее состояние домашних животных, сопровождающееся изменением продуктивности: снижением привеса животных, выращиваемых на мясо, у птиц уменьшением яйценоскости и пр. Для устранения указанных негативных явлений необходимо охлаждение или кондиционирование воздуха в животноводческих помещениях. Существует несколько способов их охлаждения, каждый из которых обладает своими преимуществами и недостатками. В статье рассматривается использование подземных вод, имеющих температуру 24–25 °С, для охлаждения животноводческих помещений. Один из методов – разбрызгивание воды на крыше здания. При расчете количества теплоты, отводимой от воздуха внутри помещения, в первом приближении считают, что оно определяется главным образом теплопередачей от воздуха внутри помещения охлаждающей воде через поверхность части кровли, представленной нижней частью волны, образующей поверхность металлочерепицы. В этом случае влиянием верхней части волны, образованной поверхностью металлочерепицы, на теплопередачу пренебрегают. Однако такое упрощение модели приводит к ошибкам. Предложено аналитическое решение задачи охлаждения воздуха в помещении путем орошения подземной водой наружной поверхности кровли. Рассмотрена задача теплопроводности в ребре конечной длины постоянного поперечного сечения, у которого различные стороны поверхности ребра сопрягаются с разными средами. Кроме того, в расчете учитывается влияние солнечного излучения. Решение проводили с помощью дифференциального уравнения, записанного на основе теплового баланса для любого бесконечно малого элемента ребра, находящегося в стационарном режиме. Полученные зависимости использованы для расчета практической задачи орошения грунтовой водой крыши из металлочерепицы помещений для содержания животных.

Ключевые слова: охлаждение помещения, подземная вода, теплопроводность, металлочерепица, солнечное излучение

Для цитирования: Шон, Тхай Нгок. Решение задачи использования подземной воды для охлаждения животноводческих помещений / Тхай Нгок Шон, Во Ти Тинь // *Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ*. 2017. Т. 60. № 2. С. 176–186. DOI: 10.21122/1029-7448-2017-60-2-176-186

Адрес для переписки
Шон Тхай Нгок
Политехнический институт
Данангского университета
ул. Ледуан, 41,
г. Дананг, Вьетнам
Тел.: 84 511 382-20-41
webmaster@ud.edu.vn

Address for correspondence
Shon Thay Ngok
Polytechnic Institute
of Da Nang University
41 Leduan str.,
Da Nang, Vietnam
Tel.: 84 511 382-20-41
webmaster@ud.edu.vn

The Solution to the Problem of Using Ground Water to Cool Livestock Buildings

Thay Ngok Shon, Vo Ti Tin

¹Polytechnic Institute of Da Nang University (Da Nang, Socialist Republic of Vietnam)

Abstract. Ambient temperature in the central part of Vietnam in summer can reach 32–35 °C; in some places it can be more than 42 °C. Hot climate strongly affects the animal organism alongside with the animal weight reduction and reduction the quantity of egg-laying in poultry. Therefore, air conditioning in livestock buildings is necessary. There are several ways to cool the temperature in such buildings, and each one has its own advantages and disadvantages. We propose to use underground water at the temperature of 24–25 °C for this purpose. One of the methods of cooling sheds for livestock is sprinkler irrigation of water on the roof. For calculating the amount of heat, removed from the indoor air in the shed to the cooling water, in the first approximation specialists believe in some cases that an appropriate amount of heat being removed is determined mainly by heat transfer from the air inside the shed to the cooling water through the surface of the roof, represented by the lower part of the wave that form the surface of a metal tile, neglecting the influence of heat conduction on top of the wave of the tile surface. Consequentially, such a simplification leads to possible errors. Therefore, the authors solved the problem of cooling shed by irrigation of water on the roof by an analytical method. Specifically, we solved the problem of heat conductivity of the fin of the finite length of constant cross section, wherein different sides of the fin are conjugate with different environments. Additionally, the calculation considered the effect of solar radiation. For this purpose, the authors have created a heat balance equation at steady state for any infinitesimal element of the fin, and solved the differential equation afterwards. The authors applied the results for calculating practical problem of ground water irrigation of a roof of a livestock shed made of metal areas tiles.

Key words: air conditioning, underground water, heat conduction, metal roof tile, solar radiation

For citation: Shon Thay Ngok, Tin Vo Ti (2017) The Solution to the Problem of Using Ground Water to Cool Livestock Buildings. *Energetika. Proc. CIS Higher Educ. Inst. and Power Eng. Assoc.* 60 (2), 176–186. DOI: 10.21122/1029-7448-2017-60-2-176-186 (in Russian)

Введение

Во Вьетнаме, особенно в центральной части, в летнее время температура наружного воздуха высока. Обозначим: среднюю температуру в зоне между провинциями Нгеана и Биньдиня в июне–июле обычно находится в пределах 34–35 °C, достигая в отдельные периоды 42 °C [1]. Это определяет острую потребность в охлаждении не только людей в повседневной жизни, но и сельскохозяйственных животных. Использование систем кондиционирования воздуха для обеспечения жизнедеятельности людей общепризнано, однако для животных применение традиционного кондиционирования экономически нецелесообразно, поскольку требуются значительные инвестиции и высокие эксплуатационные затраты. В то же время в Центральной части Вьетнама, в Дананге и Куаннаме имеются большие запасы подземной воды с относительно низкой температурой (24–26 °C) [2, 3]. Очевидно, что она может использоваться для охлаждения животноводческих помещений. Один из простых способов заключается в орошении водой кровли, которая в секторе животноводства Вьетнама выполняется, как правило, из металлочерепицы, и при этом отсутствуют потолочные пере-

крытия [4, 5]. Вода стекает по нижней волне металлочерепицы, нагревается в результате передачи теплоты от нагретой кровли и от воздуха внутри помещения, частично блокируя солнечное излучение. Очевидно, часть потока воды на кровле нагревается контактирующим наружным воздухом, а часть – верхней поверхностью волны металлочерепицы в результате теплопроводности самой черепицы. Последний процесс можно классифицировать как теплопроводность в ребре постоянного поперечного сечения. В данной статье рассматривается расчет температурного поля верхней части волны металлочерепицы и потока теплоты, передаваемой от воздушной среды внутри помещения охлаждающей воде.

Задача охлаждения помещения методом орошения водой крыши из металлочерепицы

Рассмотрим типовую металлочерепицу с размерами, приведенными на рис. 1.

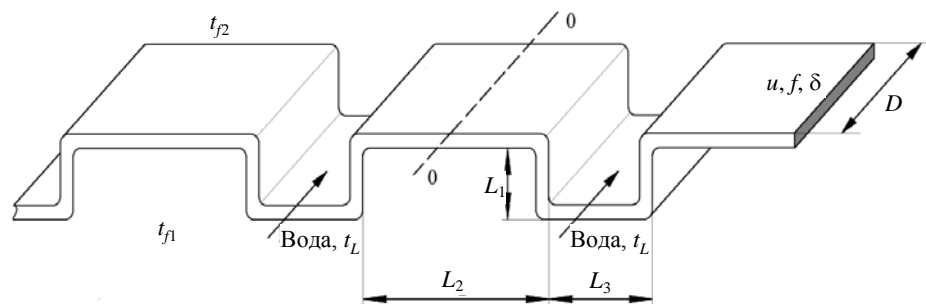


Рис. 1. Принципиальная схема конструкции металлочерепицы кровли животноводческого помещения

Fig. 1. Schematic diagram of the structure of metal tile roof of a livestock shed

Вода, разбрызгиваемая на поверхности кровли, стекает по нижней образующей волны металлочерепицы. Обозначим: среднюю температуру воды t_L , температуру воздуха внутри помещения t_{f1} , температуру наружного воздуха t_{f2} . Коэффициенты теплоотдачи от воздуха к внутренней α_1 и наружной α_2 сторонам поверхности кровли принимаются постоянными. Известны плотность потока излучения Солнца E и коэффициент поглощения металлочерепицы A . Стоит задача определения теплоты, переданной от воздуха внутри помещения охлаждающей воде, разбрызгиваемой на поверхности кровли.

В расчетах принимали, что количество теплоты, поступающей от воздуха внутри помещения к охлаждающей воде, в основном передается через нижнюю образующую волны металлочерепицы. В этом случае влиянием теплопередачи через верхнюю образующую волны пренебрегали. Однако это может привести к неприемлемым ошибкам.

Для более точного решения задачи необходимо учитывать распределение температуры на верхней образующей волны металлочерепицы.

В предположении, что скорость стекания воды в канавках металлочерепицы одинакова и одинакова средняя температура потока, температурное поле верхней части волны металлочерепицы можно принимать симметричным, а ось симметрии считать за начало координат. В результате получаем особый случай задачи теплопроводности в ребре постоянного поперечного сечения. Принимаем, что вода заполняет канавку металлочерепицы до половины паза, в этом случае длина ребра составляет $L = 0,5(L_1 + L_2)$. В классической задаче теплопроводности в ребре постоянного поперечного сечения обе теплопередающие поверхности омываются одной средой [6, 7]. В данном случае различные поверхности ребра, участвующие в теплопередаче, омываются разными средами: воздухом на внутренней, водой на наружной поверхности. Кроме того, существенное влияние оказывает излучение Солнца, которое необходимо учитывать. Схема предлагаемой модели показана на рис. 2.

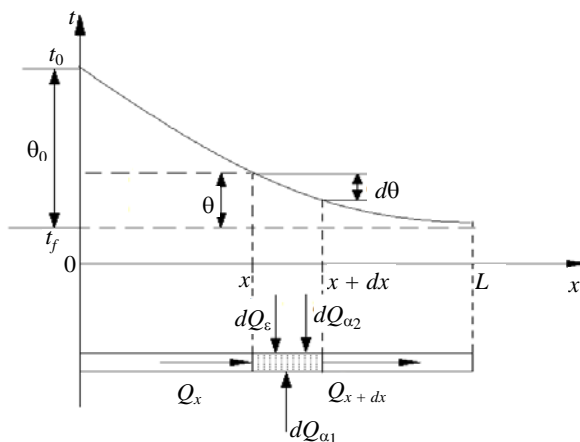


Рис. 2. Схема модели к решению задачи теплопроводности внутри ребра

Fig. 2. The model scheme to the solution of the problem of heat conduction inside the fin

Температурное поле верхней части волны металлочерепицы

Для любого элементарного объема верхней волны металлочерепицы уравнение теплового баланса для стационарного режима может быть записано

$$Q_x + dQ_{\alpha 1} + dQ_{\alpha 2} + dQ_{\epsilon} = Q_{x+dx}, \quad (1)$$

где Q_x – количество теплоты, поступающей в элемент за единицу времени; Q_{x+dx} – то же, отводимой из элемента за единицу времени; $dQ_{\alpha 1}$ – то же, отдаваемой воздухом внутри помещения от нижней поверхности элемента за единицу времени; $dQ_{\alpha 2}$ – то же, поступающей от наружного воздуха к поверхности верхней части волны элемента за единицу времени; dQ_{ϵ} – то же,

поступающей к верхней стороне элемента за счет излучения Солнца в единицу времени.

Количество теплоты, поступающей в элемент и отводимой от него, определяется из закона Фурье:

$$Q_x = -\lambda f \frac{dt}{dx}; \quad (2)$$

$$Q_{x+dx} = -\lambda f \frac{d}{dx} \left(t + \frac{dt}{dx} dx \right) = -\lambda f \frac{dt}{dx} - \lambda f \frac{d^2 t}{dx^2} dx, \quad (3)$$

где λ – коэффициент теплопроводности металлочерепицы, Вт/(м·К); f – площадь поперечного сечения ребра, м².

Количество теплоты, отдаваемой воздухом с внутренней и внешней сторон элемента кровли наружному воздуху, определяется в соответствии с законом Ньютона. Толщина листа металлочерепицы δ несоизмеримо мала в сравнении с периметром поперечного сечения ребра u . Принимая длину листа металлочерепицы $u/2$, можно записать:

$$dQ_{\alpha 1} = \frac{u}{2} dx \alpha_1 (t_{f1} - t); \quad (4)$$

$$dQ_{\alpha 2} = \frac{u}{2} dx \alpha_2 (t_{f2} - t). \quad (5)$$

Обозначим

$$dQ_{\alpha} \triangleq dQ_{\alpha 1} + dQ_{\alpha 2}. \quad (6)$$

После преобразования получаем

$$dQ_{\alpha} = u \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} dx \left(\frac{t_{f1} \alpha_1 + t_{f2} \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2} - t \right). \quad (7)$$

Обозначив:

$$\alpha \triangleq \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2};$$

$$t_f \triangleq \frac{t_{f1} \alpha_1 + t_{f2} \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2},$$

получаем

$$dQ_{\alpha} = \alpha u (t_f - t) dx.$$

Количество теплоты, поступающей с солнечным излучением Солнца к верхней стороне элемента, определяется

$$dQ_{\varepsilon} = AE \frac{u}{2} dx,$$

где E – плотность потока излучения Солнца, зависящая от рассматриваемого промежутка времени года и местоположения, Вт/м².

Подставляя выражения (2), (3) и (6) в (1), после преобразования получаем

$$\frac{d^2 t}{dx^2} - \frac{\alpha u}{\lambda f} (t - t_f) = -\frac{1}{2} \frac{AEu}{\lambda f}. \quad (8)$$

Обозначим:

$$\beta \triangleq \sqrt{\frac{\alpha u}{\lambda f}} \quad [\text{м}^{-1}]; \quad \theta \triangleq t - t_f; \quad a \triangleq -\frac{1}{2} \frac{AEu}{\lambda f} \quad [\text{Км}^{-2}].$$

Получаем дифференциальное уравнение

$$\frac{d^2 \theta}{dx^2} - \beta^2 \theta = a. \quad (9)$$

Решение дифференциального уравнения имеет вид

$$\theta = C_1 e^{\beta x} + C_2 e^{-\beta x} + \theta_{\varepsilon}, \quad (10)$$

где $\theta_{\varepsilon} \triangleq -\frac{a}{\beta^2}$ [К], или $\theta_{\varepsilon} = \frac{1}{2} \frac{AE}{\alpha}$.

Постоянные C_1, C_2 определяются из граничных условий: при $x = 0$:

$$-\lambda f \frac{dt}{dx} \Big|_{x=0} = 0; \quad -\lambda f \beta (C_1 - C_2) = 0; \quad C_1 = C_2;$$

при $x = L$

$$\theta_L = C_1 e^{\beta L} + C_2 e^{-\beta L} + \theta_{\varepsilon}. \quad (11)$$

Получаем

$$C_1 = C_2 = \frac{\theta_L - \theta_{\varepsilon}}{e^{\beta L} + e^{-\beta L}}.$$

Подставляя C_1, C_2 в (10), после преобразования находим

$$\theta = (\theta_L - \theta_{\varepsilon}) \frac{\text{ch}(\beta x)}{\text{ch}(\beta L)} + \theta_{\varepsilon}. \quad (12)$$

Температурное поле на верхней стороне волны металлочерепицы имеет вид

$$t = t_f + \left(t_L - t_f - \frac{1}{2} \frac{AE}{\alpha} \right) \frac{\text{ch}(\beta x)}{\text{ch}(\beta L)} + \frac{1}{2} \frac{AE}{\alpha}. \quad (13)$$

В особом случае, когда можно пренебречь влиянием солнечного излучения ($\theta_\varepsilon = 0$), выражение (12) трансформируется к виду

$$\theta = \theta_L \frac{\text{ch}(\beta x)}{\text{ch}(\beta L)}. \quad (14)$$

Если не различать среды верхней и нижней поверхностей металлочерепицы, т. е. когда имеет место $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$, $t_{f1} = t_{f2} = t_f$, то следует, что (14) является зависимостью для расчета избыточной температуры в ребре постоянного поперечного сечения [6–8]. Отличие имеет место лишь в начале отсчета координат.

Количество теплоты, переданной от воздуха внутри помещения охлаждающей воде

Количество теплоты, полученной охлаждающей водой Q , зависит от двух слагаемых: Q_1 – теплоты, переданной от воздуха внутри помещения охлаждающей воде через нижнюю поверхность волны металлочерепицы, и Q_2 – теплоты, переданной от воздуха внутри помещения внутренней стороне верхней волны металлочерепицы:

$$Q = Q_1 + Q_2. \quad (15)$$

Количество теплоты Q_1 определяется следующим образом. Поскольку коэффициент теплоотдачи от поверхности металлочерепицы к воде значительно больше (на два порядка) коэффициента теплоотдачи от воздуха к поверхности металлочерепицы, можно принимать, что температура поверхности металлочерепицы равна температуре воды. Тогда значение Q_1 определяется из закона Ньютона

$$Q_1 = \alpha_1 F_1 (t_{f1} - t_L), \quad (16)$$

где F_1 – площадь поверхности волны металлочерепицы, омываемая водой, м^2 .

Поскольку температура верхней стороны волны металлочерепицы зависит от координат, согласно выражению (13), количество теплоты Q_2 определяется следующим образом:

$$Q_2 = \int_0^{F_2} \alpha_1 (t_{f1} - t) dF. \quad (17)$$

Преобразуем последнее выражение

$$t_{f1} - t = (t_{f1} - t_f) - (t - t_f).$$

Обозначив

$$\theta_{f1} \triangleq (t_{f1} - t_f),$$

получаем:

$$t_{f1} - t = \theta_{f1} - \theta; \quad dF = \frac{1}{2} u dx; \quad Q_2 = \int_0^L \alpha_1 (\theta_{f1} - \theta) \frac{1}{2} u dx.$$

После решения и преобразования имеем выражение

$$Q_2 = \alpha_1 F_2 [(\theta_\varepsilon - \theta_L) \eta_c - (\theta_\varepsilon - \theta_{f1})], \quad (18)$$

где F_2 – площадь поверхности волны металлочерепицы, не прикасающаяся с водой, m^2 ; η_c – коэффициент эффективности ребра, определяемый по формуле

$$\eta_c = \frac{\text{th}(\beta L)}{\beta L}.$$

Подставив (16) и (18) в (15), получим количество теплоты, переданной от воздуха внутри помещения охлаждающей воде.

Пример расчета

Пример расчета связан с практической задачей охлаждения помещения для содержания животных путем орошения грунтовой водой крыши из металлочерепицы. Размеры помещения и кровли из металлочерепицы определяются по данным [3], температура воздуха внутри помещения выбирается в зависимости от конкретных видов животных, коэффициент теплоотдачи от воздуха к поверхности крыши принимается с учетом конкретных условий по [9, 10]. Характеристики для примера расчета приведены в табл. 1.

Таблица 1

Наименование характеристики	Обозначение/формула	Значение
Количество листов металлочерепицы	N	30
Количество волн на листе металлочерепицы	n_r	10
Высота волны, м	L_1	0,02
Длина верха волны, м	L_2	0,06
Длина низа волны, м	L_3	0,04
Длина листа металлочерепицы, м	D	3,0
Толщина листа металлочерепицы, м	δ	0,001

Продолжение табл. 1

Наименование характеристики	Обозначение/формула	Значение
Длина ребра, м	$L = 0,5(L_1 + L_2)$	0,04
Коэффициент теплопроводности металлочерепицы, Вт/(м·К)	λ	50
Коэффициент теплоотдачи от воздуха к внутренней стороне кровли, Вт/(м ² ·К)	α_1	11
Коэффициент теплоотдачи от воздуха к наружной стороне кровли, Вт/(м ² ·К)	α_2	7
Температура воздуха внутри помещения, °С	t_{f1}	30
Температура наружного воздуха, °С	t_{f2}	36
Коэффициент поглощения металлочерепицы	A	0,6
Плотность потока излучения Солнца, Вт/м ²	E	600
Средняя температура воды, °С	t_L	25
Площадь поверхности волны металлочерепицы, соприкасающаяся с водой, м ²	$F_1 = D \left(2 \frac{L_1}{2} + L_3 \right)$	0,18
Площадь поверхности волны металлочерепицы, не соприкасающаяся с водой, м ²	$F_2 = 2LD$	0,24
Периметр поперечного сечения ребра, м	$u = 2(D + \delta)$	6,002
Площадь поперечного сечения ребра, м ²	$f = \delta D$	0,003
Средний коэффициент теплоотдачи, Вт/(м ² ·К)	$\alpha = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}$	9,0
Приведенная температура среды, °С	$t_f = \frac{t_{f1}\alpha_1 + t_{f2}\alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2}$	32,3
Характеристический коэффициент ребра	$\beta = \sqrt{\frac{\alpha u}{\lambda f}}$	19,0
Избыточная температура θ_ε , °С	$\theta_\varepsilon = \frac{1}{2} \frac{AE}{\alpha}$	20
Избыточная температура θ_L , °С	$\theta_L = t_L - t_f$	-7,3
Избыточная температура θ_{f1} , °С	$\theta_{f1} = t_{f1} - t_f$	-2,3
Коэффициент эффективности ребра	$\eta_c = \frac{\text{th}(\beta L)}{\beta L}$	0,84
Мощность потока теплоты, переданной от воздуха внутри помещения охлаждающей воде через нижнюю поверхность волны металлочерепицы, Вт	$Q_1 = \alpha_1 F_1 (t_{f1} - t_L)$	9,90
Мощность потока теплоты, переданной от воздуха внутри помещения внутренней стороне волны металлочерепицы, Вт	$Q_2 = \alpha_1 F_2 [(\theta_\varepsilon - \theta_L)\eta_c - (\theta_\varepsilon - \theta_{f1})]$	1,93

Окончание табл. 1

Наименование характеристики	Обозначение/формула	Значение
Мощность потока теплоты, переданной от воздуха внутри помещения охлаждающей воде, Вт	$Q = Q_1 + Q_2$	11,83
Мощность потока теплоты, переданной от воздуха внутри помещения охлаждающей воде, Вт, относительно всей кровли	$Q_m = Nn_r Q$	3549
Процентное отношение η_{Q1}	$\eta_{Q1} = \frac{Q_2}{Q_1} 100$	19,5
Процентное отношение η_Q	$\eta_Q = \frac{Q_2}{Q} 100$	16,3

ВЫВОДЫ

1. Предлагается решение задачи теплопроводности в ребре постоянного поперечного сечения с условиями, которые несколько шире классической постановки задачи: во-первых, поверхности ребер омываются различными средами, во-вторых, одна поверхность находится под влиянием солнечного излучения. Из полученных результатов можно решить классическую задачу теплопроводности в ребре постоянного поперечного сечения конечной длины.

2. Выведенные зависимости использованы для расчета практической задачи охлаждения предназначенных для содержания животных помещений, не имеющих потолочного перекрытия. Охлаждение обеспечивается с помощью артезианской воды, которой орошается наружная поверхность кровли из металлочерепицы. Количество теплоты, переданной от воздуха внутри помещений через нижнюю поверхность ребер металлочерепицы, составляет 19,5 % теплоты, переданной охлаждающей воде через поверхность нижней волны металлочерепицы, что составляет 16,3 % общего количества теплоты, переданной охлаждающей воде. Это означает, что нельзя пренебречь процессом теплопроводности через верхнюю волну металлочерепицы.

ЛИТЕРАТУРА

1. QСХDVN 02:2008/BXD: Вьетнамский строительный кодекс. Естественно физические и климатические данные для строительства. Ханой, 2000. 322 с.
2. Хай, Фам Нгок. Техника добычи подземной воды / Фам Нгок Хай, Фам Вьет Ха. Ханой: Сельское хозяйство, 2004. 158 с. (на вьетнамском языке).
3. Хиеу, Динь Дык. Исследование возможности использования подземной воды для охлаждения сарая для животных в Центральной части Вьетнама / Динь Дык Хиеу. Дананг: Данангский ун-т, 2014. 101 с.

4. Животноводство / Нгуен Зуй Хоан [и др.]. Ханой: Сельское хозяйство, 1999. 150 с. (на вьетнамском языке).
5. Фьонг, Нгуен Чунг. Руководство по животноводству / Нгуен Чун Фьонг. Ханой: Сельское хозяйство, 2013. 63 с. (на вьетнамском языке).
6. Исаченко, В. П. Теплопередача / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. М.: Энергоиздат, 1981. 418 с.
7. Тьин, Хоанг Динь. Теплопередача и теплообменники / Хоанг Динь Тьин. Ханой: Наука и техника. 2001. 582 с. (на вьетнамском языке).
8. Bejan, A. Heat Transfer Handbook / A. Bejan, A. D. Kraus. Wiley, 2003. 1496 с.
9. Тинь, Во Ти. Кондиционирование воздуха / Во Ти Тинь. Ханой: Наука и техника, 2005. 490 с. (на вьетнамском языке).
10. Тепло- и массообмен: в 2 ч. / Б. М. Хрусталеv [и др.]; под ред. А. П. Несенчука. Минск: БНТУ, 2007. Ч. 1. 607 с.

Поступила 07.09.2016 Подписана в печать 10.11.2016 Опубликовано онлайн 07.03.2017

REFERENCES

1. QCXDVN 02:2008/BXD: Vietnamese Building Code. Natural Physical and Climatic Data for Construction. Hanoi, 2000. 322 (in Vietnamese).
2. Khai Fam Ngok, Kha Fam V'et (2004) *Technique of Extraction of Underground Water*. Hanoi, Agriculture Publ. 158 (in Vietnamese).
3. Khieu Din Dyk (2014) *Study the Possibility of Using Underground Water to Cool the Barn for the Animals in Central Vietnam*. Da Nang, Da Nang University. 101 (in Vietnamese).
4. Nguen Zui Khoan et al. (1999) *Livestock Farming*. Hanoi, Agriculture Publ. 150 (in Vietnamese).
5. Fyong Nguen Chung (2013) *Handbook in Livestock Farming*. Hanoi, Agriculture Publ. 63 (in Vietnamese).
6. Isachenko V. P., Osipova V. A., Sukomel A. S. (1981) *Heat Transfer*. Moscow, Energoizdat Publ. 418 (in Russian).
7. Thin Hoang Dinh (2001) *Heat Transfer and Heat Exchangers*. Hanoi, Science and Technique Publ. 582 (in Vietnamese).
8. Bejan A., Kraus A. D. (2003) *Heat Transfer Handbook*. Wiley. 1496.
9. Tin Vo Ti (2005) *Air Conditioning*. Hanoi, Science and Technique Publ. 490 (in Vietnamese).
10. Khrustalev B. M., Nesenchuk A. P., Timoshpolskii V. I., Akelev V. D., Sednin V. A., Kopko V. M., Nerezko A. V. (2007) *Heat- and Mass Exchange. Part 1*. Minsk, Belarusian National Technical University. 607 (in Russian).

Received: 7 September 2016 Accepted: 10 November 2016 Published online: 7 March 2017