

Устройство для поения коров подогретой водой

Г.П. Юхин, д.т.н., профессор, А.А. Катков, к.т.н., П.В. Ковалёв, соискатель, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ

Вода играет важную роль в производстве молока, она регулирует температуру тела и многие другие функции организма у молочного скота. Для производства 1 кг молока коровам требуется более 4 л воды [1]. Для поения коров используют воду, отвечающую в основном требованиям к питьевой воде. Тёплую воду температурой выше 27°C коровы пьют неохотно [2–8]. Но и холодную воду с температурой ниже 8–12°C коровам выпаивать нежелательно. В связи с этим в зимнее время не-

обходимо подогревать воду для поения коров, на что требуются значительные затраты энергии. Наибольшее потребление воды животными происходит после кормления и доения коров. В это же время работают холодильные установки для охлаждения парного молока. И если для охлаждения фреона холодильной установки использовать холодную питьевую воду, то будет получена значительная экономия энергоресурсов.

Материал и методы исследований. С целью обеспечения бесперебойного снабжения коров водой оптимальной температуры нами разработано устройство для поения коров подогретой во-

дой [9–11]. Устройство (рис. 1) включает фильтр 1, термостатический смеситель 2, предназначенный для смешивания в необходимой пропорции холодной воды из водопровода и подогретой воды из теплоизолированного бака 3, обратные клапаны 4 для направленного движения воды. Датчики температуры 5, циркуляционный насос 6, проточный водонагреватель 7 и шкаф управления 8 обеспечивают подачу воды необходимой температуры. Клапан сброса избыточного давления 9, шаровой клапан 10 и клапан удаления воздуха 11 предохраняют систему поения от избыточного давления и образования воздушных пробок. Автопоилки 12 расположены в неотапливаемом помещении и оборудованы автономными электронагревателями 13 и датчиками температуры 14.

Устройство для циркуляционной подачи воды в поилки работает следующим образом. Холодная вода, поступающая из водопровода, проходит через теплообменник холодильного агрегата, нагревается там, накапливается в термоизолированном баке 3 для подогретой воды и подаётся в термостатический смеситель 2. Здесь подогретая вода смешивается с холодной водопроводной водой в необходимой пропорции и подаётся к циркуляционному насосу 6, который направляет подогретую воду в автопоилки 12. Во время доения и сразу после дойки идёт охлаждение молока, соответственно в теплообменнике установки для охлаждения молока выделяется большое количество тепла. В это же время в соответствии с физиологией коровы интенсивно потребляют воду из автопоилок 12. Поэтому значительная доля воды для поения коров подогревается за счёт использования

тепла охлаждаемого молока, при этом проточный водонагреватель 7 и электронагреватели 13 отключены и не потребляют энергию. В ночное время при низком потреблении воды из поилок 12 проточный водонагреватель 7 и электронагреватели 13 периодически включаются, причём при помощи датчиков температуры 5 и 14 обеспечивается пониженная температура воды и минимальный расход энергии в это время. Циркуляционный насос 6 исключает замерзание воды в водопроводе, расположенном в неотапливаемом помещении.

Результаты исследования. Длина водопровода в неотапливаемом помещении для коров составляет L , м, сечение водопроводной полипропиленовой трубы PN 25, утеплённой энергофлексом, показано на рисунке 2.

Пусть $T(x, t)$ – температура воды, K , внутри трубы на расстоянии x от входа в холодное помещение в момент времени t . Запишем дифференциальное уравнение теплопроводности:

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} - \lambda_1 \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + c\rho v \frac{\partial T}{\partial x} = \frac{Q}{S}, \quad (1)$$

где c – удельная теплоёмкость воды, Дж/(кг·K);
 ρ – плотность воды, кг/м³;
 λ_1 – коэффициент теплопроводности воды, Дж/(м·K);
 v – скорость движения воды в трубе, м/с;
 S – площадь внутреннего сечения трубы, м²;
 Q – поток теплоты в сечении трубы x в единицу времени, Дж/с.

Первое слагаемое характеризует теплопроводность при неустановившемся режиме работы, второе слагаемое учитывает теплопередачу в воде

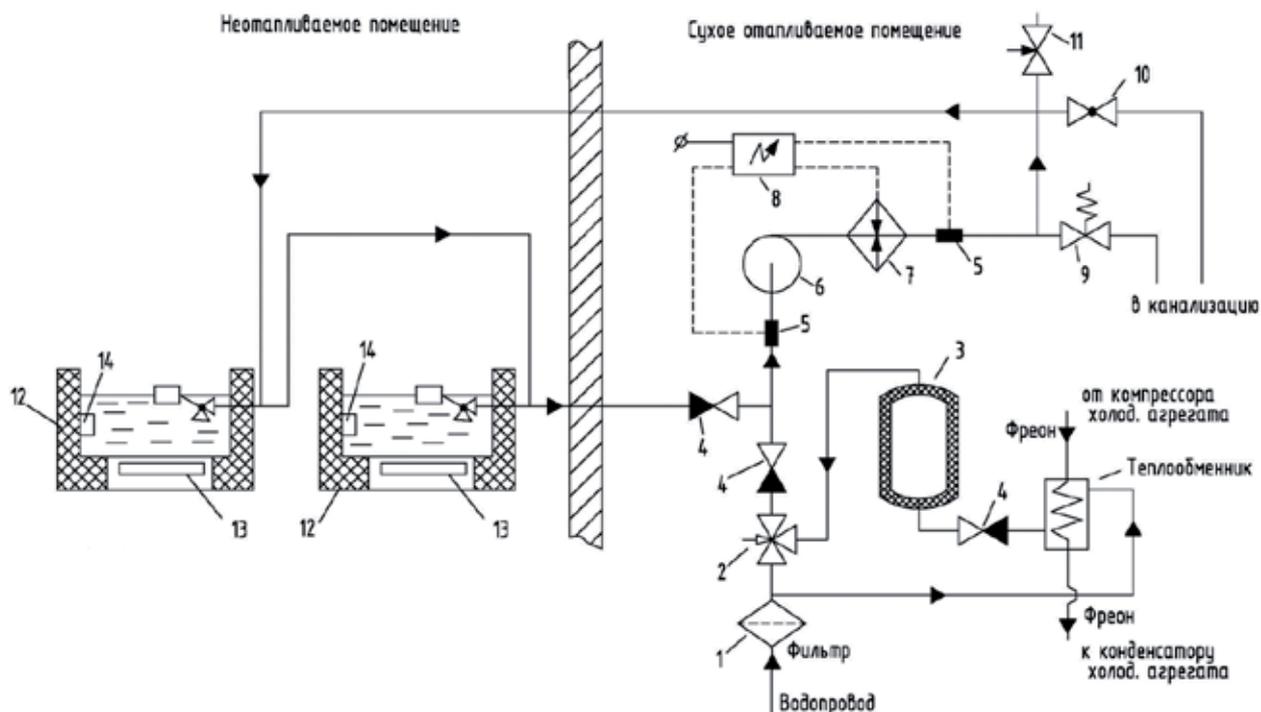


Рис. 1 – Принципиальная схема установки циркуляционной подачи воды в поилки (обозначения в тексте)

и третье слагаемое учитывает перенос тепла с потоком воды. При рассмотрении распределения температуры в установившемся режиме первое слагаемое в уравнении (1) можно принять равным нулю. Нами была исследована математическая модель при сохранении второго слагаемого и без него, результаты оказались практически неразличимыми. Поэтому получаем следующее дифференциальное уравнение:

$$c\rho_1 v \frac{\partial T}{\partial x} = Q, \quad (2)$$

где $\rho_1 = \rho S$.

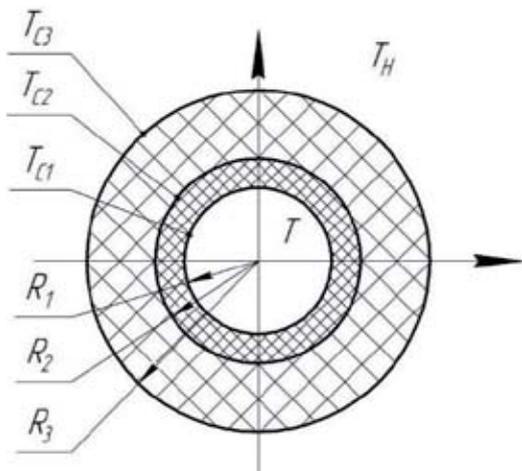


Рис. 2 – Сечение водопроводной трубы

Рассчитаем тепловой поток Q в сечении x . Обозначим через T_H температуру воздуха снаружи трубы, через T_{C1} , T_{C2} – температуру на внутренней и внешней стенках полипропиленовой трубы соответственно, T_{C3} – температуру на наружной стенке теплоизоляционного слоя. Тепловой поток Q , приходящийся на единицу длины трубы, можно записать следующими способами:

$$Q = \alpha_1(T_{C1} - T)2\pi R_1,$$

$$Q = \frac{\lambda_2 2\pi(T_{C2} - T_{C1})}{\ln \frac{R_2}{R_1}},$$

$$Q = \frac{\lambda_3 2\pi(T_{C3} - T_{C2})}{\ln \frac{R_3}{R_2}},$$

$$Q = \alpha_2(T_H - T_{C3})2\pi R_3,$$

где α_1 – коэффициент теплоотдачи от воды к стенке, Вт/(м²·К);

α_2 – коэффициент теплоотдачи от стенки к воздуху, Вт/(м²·К);

λ_2 , λ_3 – коэффициенты теплопроводности слоев полипропилена и энергофлекса соответственно, Вт/(м·К);

T – температура воды внутри трубы, К;

R_1 , R_2 и R_3 – соответственно внутренний радиус полипропиленовой трубы, наружный

радиус полипропиленовой трубы и наружный радиус теплоизоляции из энергофлекса, м.

Из этих равенств получим:

$$T_{C1} - T = \frac{Q}{\alpha_1 2\pi R_1},$$

$$T_{C2} - T_{C1} = \frac{Q \cdot \ln \frac{R_2}{R_1}}{\lambda_2 2\pi},$$

$$T_{C3} - T_{C2} = \frac{Q \cdot \ln \frac{R_3}{R_2}}{\lambda_3 2\pi},$$

$$T_H - T_{C3} = \frac{Q}{\alpha_2 2\pi R_3}.$$

Просуммировав равенства, получим:

$$T_H - T = \frac{Q}{2\pi} \left(\frac{1}{\alpha_1 R_1} + \frac{\ln \frac{R_2}{R_1}}{\lambda_2} + \frac{\ln \frac{R_3}{R_2}}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_2 R_3} \right).$$

Отсюда имеем:

$$Q = K(T_H - T),$$

где

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{\alpha_1 R_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{R_2}{R_1} + \frac{1}{\lambda_3} \ln \frac{R_3}{R_2} + \frac{1}{\alpha_2 R_3}}.$$

Таким образом, температура жидкости в трубе удовлетворяет дифференциальному уравнению:

$$c\rho_1 v \frac{dT}{dx} = K(T_H - T). \quad (3)$$

Кроме того, должно выполняться условие:

$$T(0) = T_0, \quad (4)$$

где T_0 – температура воды на входе в трубу, К.

Дифференциальное уравнение (3) легко решается разделением переменных:

$$\frac{dT}{T - T_H} = -\frac{K}{c\rho_1 v} dx,$$

$$\ln|T - T_H| = -\frac{K}{c\rho_1 v} x + C_1,$$

$$T - T_H = \pm e^{C_1} \cdot e^{-\frac{Kx}{c\rho_1 v}},$$

$$T = T_H + C_2 e^{C_1} \cdot e^{-\frac{Kx}{c\rho_1 v}}.$$

Константу C_2 найдём из условия (4):

$$T_0 = T_H + C_2, \quad C_2 = T_0 - T_H.$$

В результате получим следующее решение задачи (3), (4):

$$T = T_H + (T_0 - T_H) \cdot e^{-\frac{Kx}{c\rho_1 v}}. \quad (5)$$

Найдём потери теплоты в единицу времени по всей длине трубы L :

$$Q_L = -\int_0^L K[T_H - T(x)]dx = K(T_0 - T_H) \int_0^L e^{-\frac{Kx}{c\rho_1 v}} dx =$$

$$= \frac{K(T_0 - T_H)}{-K} \cdot c\rho_1 v e^{-\frac{Kx}{c\rho_1 v}} \Big|_0^L = (T_0 - T_H) c\rho_1 v \left(1 - e^{-\frac{KL}{c\rho_1 v}}\right). \quad (6)$$

Легко убедиться в том, что производная этой функции по переменной v положительна при всех значениях параметров (при $T_0 > T_H$). Это означает, что мощность тепловых потерь по всей длине трубы монотонно возрастает с увеличением скорости v движения воды. Следовательно, скорость v нужно выбирать минимально возможной с учётом того, что температура воды в конце трубы должна быть не менее некоторого значения T_{\min} (минимальной комфортной температуры): $T(L) \geq T_{\min}$. Из формулы (5) следует, что $T(L)$ уменьшается с уменьшением скорости воды v .

Численный анализ уравнений (5) и (6) проводили при известных теплофизических свойствах воды [12] с учётом следующих исходных данных: длина водопровода в неотапливаемом помещении $L = 170$ м, размеры сечения водопровода $R_1 = 8,3$ мм, $R_2 = 12,5$ мм, $R_3 = 18,5$ мм, температура воздуха снаружи трубы $T_H = 268$ К, температура воды в начале водопровода $T_0 = 288$ К, коэффициенты теплопроводности полипропилена и энергофлекса соответственно $\lambda_2 = 0,15$ Вт/(м·К) и $\lambda_3 = 0,038$ Вт/(м·К), коэффициенты теплоотдачи от воды к стенке и от стенки к воздуху соответственно $\alpha_1 = 400$ Вт/(м²·К) и $\alpha_2 = 15$ Вт/(м²·К). Результаты представлены на рисунке 3.

Как было установлено ранее, теплопотери в водопроводе снижаются при уменьшении скорости движения воды, однако при этом более интенсивно снижается температура воды в конце трубопровода. Минимальная температура воды, комфортная для поения коров, составляет +10°C (283 К). Такая температура воды будет в конце водопровода при скорости движения воды $v = 0,241$ м/с, т.е. при производительности циркуляционного насоса 0,19 м³/ч, которую и следует считать оптимальной.

Теплопотери в единицу времени в водопроводе согласно формуле (6) составят 1095 Вт для теплоизолированной трубы и 1934 Вт для трубы без теплоизоляции.

Вывод. Теоретическими исследованиями установлено, что оптимальная производительность циркуляционного насоса составляет 0,19 м³/ч. Она зависит от температуры воздуха в коровнике

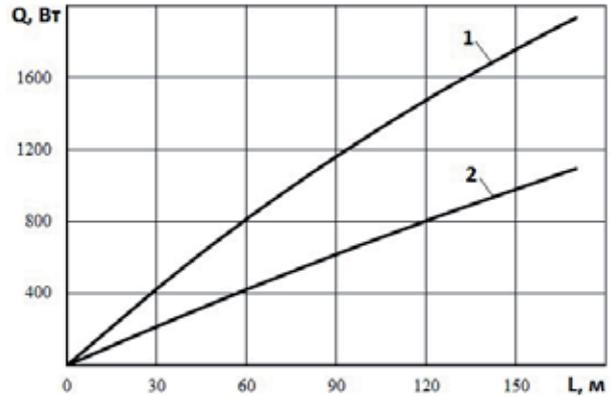


Рис. 3 – Зависимости теплопотерь Q воды в единицу времени от длины L водопровода при производительности циркуляционного насоса 0,19 м³/ч (скорость движения воды 0,241 м/с): 1 – полипропиленовая труба PN25 без утеплителя; 2 – полипропиленовая труба PN25 с утеплителем из энергофлекса

T , длины водопровода L и теплофизических характеристик δ , λ , α трубопровода для подачи воды. Теплопотери за единицу времени по всей длине теплоизолированного водопровода в коровнике составят 1095 Вт.

Литература

- Хазанов Е.Е., Гордеев В.В., Хазанов В.Е. Технология и механизация молочного животноводства / под общ. ред. Е.Е. Хазанова. СПб.: Лань, 2016. 352 с.
- Adams R.S., Sharpe W.E. Water intake and quality for dairy cattle. The 10 Pennsylvania State Univeristy, College of Agricultural Sciences, Cooperative Extension. 11 Bulletin DAS 95-8.
- Нормы технологического проектирования ферм крупного рогатого скота НТП-АПК1.10.01.001-00. М.: ГУ ЦНТИ Мелиоводинформ, 2000. 121 с.
- Looper, M.L., Waldner, D.N. Water for Dairy Cattle. Guide D-107, New Mexico State University, Cooperative Extension Service, www.cah.nmsu.edu (F-4275 / Oklahoma State University, Cooperative Extension Service, № 2, 2002.
- Mader T.L., Johnson L.J., Gaughan J.B. A comprehensive index for assessing environmental stress in animals. Erratum, Journal of Animal Science 2010, 88(6), p.2153–2165.
- Bert F., Maubec E., Bruneau B., Berry P., Lambert-Zechovsky N. Multiresistant Pseudomonas aeruginosa outbreak associated with contaminated tar water in a neurosurgery intensive care unit. J Hosp Infection, № 39, 1998, p. 53–62.
- Beede, D.K. Evaluation of Water Quality and Nutrition for Dairy Cattle, High Plains Dairy Conference, 2006. 24 p.
- Linn, J., Raeth-Knight M. Water Quality and Quantity for Dairy Cattle / University of Minnesota, 2010. 5 p.
- Пат. на полезную модель RUS 183636. Устройство для поения коров подогретой водой / Г.П. Юхин, В.М. Мартынов, А.А. Катков, Р.А. Хамматов, П.В. Ковалев 27.03.2018.
- Юхин Г.П. Циркуляционная система водоснабжения в коровнике с подогревом / Г.П. Юхин, А.А. Катков, З.В. Макаровская [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2015. № 5 (55). С. 58–61.
- Юхин Г.П. Резервы экономии электроэнергии при организации поения животных на молочных фермах / Г.П. Юхин, А.А. Катков, Р.А. Хамматов [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 6 (68). С. 120–123.
- Кошевой Е.П. Практикум по расчётам технологического оборудования пищевых производств. СПб.: ГИОРД, 2005. 232 с.