

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОЕНИЯ КОРОВ ПОДОГРЕТОЙ ВОДОЙ

Катков Алексей Анатольевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Безопасность жизнедеятельности и технологическое оборудование»

Лукманов Рамиль Лутфуллович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Математика»

Ковалев Павел Васильевич, соискатель кафедры «Безопасность жизнедеятельности и технологическое оборудование»

ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ

450001, г. Уфа, ул. 50 лет Октября, 34; тел.: 8(347)252-72-52;

e-mail: gpet1@yandex.ru

Ключевые слова: поение коров, автопоилка, подогрев воды, теплопотери, температура воды, насос циркуляционный.

Для получения высокой продуктивности коров необходимо обеспечить свободный доступ всех животных к поилкам, особенно после кормления и доения. Нами разработано устройство для бесперебойного снабжения животных водой оптимальной температуры. Устройство включает в себя циркуляционный насос, проточный электроводонагреватель, датчики температуры, шкаф управления, водопровод для подачи воды в автопоилки, а также прибор учета расхода воды с электронным блоком, передающим данные на компьютер с интервалом в одну секунду. С помощью датчиков температуры поддерживается комфортная температура воды для поения коров. В ночное время, когда животные отдыхают и практически не потребляют воду, для экономии электроэнергии устанавливается пониженная температура воды. Составлена математическая модель теплового потока в водопроводной трубе для установившегося процесса. Выявлено, что влиянием теплопроводности в потоке воды можно пренебречь. Анализ полученных уравнений показал, что мощность тепловых потерь по всей длине трубы монотонно уменьшается со снижением скорости движения воды, то есть с уменьшением производительности циркуляционного насоса. Однако при этом более интенсивно снижается и температура воды. При оптимальной производительности циркуляционного насоса температура воды в конце водопровода должна равняться минимальной комфортной температуре для поения коров. Выявлено, что производительность циркуляционного насоса зависит от температуры воздуха в коровнике, длины водопровода и теплофизических характеристик водопровода.

Введение

Вода играет важную роль в производстве молока, она регулирует температуру тела и многие другие функции организма у молочного скота. Коровы потребляют около 4...4,5 литров воды на один килограмм произведенного молока [1]. Молоко на 87 % состоит из воды, поэтому около 34 % потребленной воды выводится из организма коровы за счет производства молока. Остальная вода выводится за счет фекальной экстракции (31 %), экстракции мочи (17 %), выделения пота и потерь пара из легких (18 %). Для поения коров используют воду, отвечающую в основном требованиям к питьевой воде. Температура воды для поения коров не должна быть ниже 8...12 °С. Однако коровы неохотно пьют воду с температурой выше 27 °С [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8]. Важно обеспечить свободный доступ всем коровам к поилкам в течение суток. Наибольшее же потребление воды животными происходит после кормления и доения коров. Если корма и рационы на фермах контролируются достаточно тщательно, то потребление воды, ее доступность и

качество зачастую не контролируются.

Объекты и методы исследований

С целью обеспечения бесперебойного снабжения коров водой оптимальной температуры нами разработано устройство для поения коров подогретой водой [9,10]. Устройство включает фильтр 1, прибор учета расхода воды 2, обратные клапаны 3 и 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 можно размещать в неотапливаемом помещении, для чего они оборудованы автономными электронагревателями 13 и датчиками температуры 14 (рис.1).

Устройство для циркуляционной подачи воды в поилки работает следующим образом.

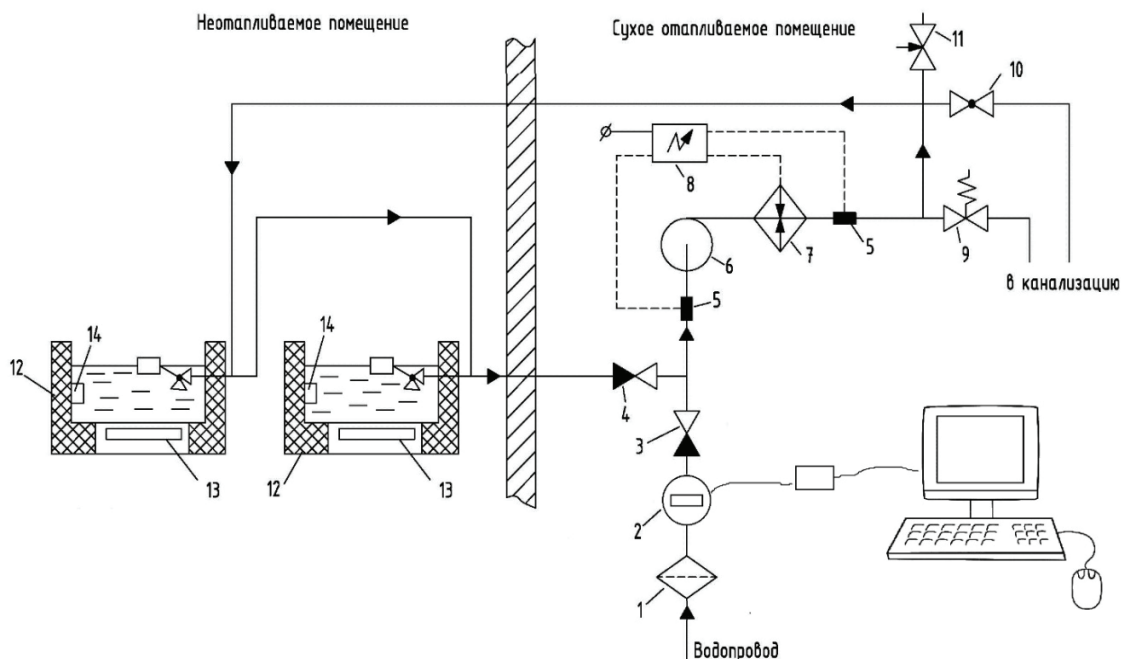


Рис. 1 – Принципиальная схема установки циркуляционной подачи воды в поилки (обозначения в тексте)

Холодная вода, поступающая из водопровода, проходит через фильтр 1, прибор учета расхода воды 2 и подается к циркуляционному насосу 6, который направляет подогретую воду в автопоилки 12. Прибор учета расхода воды 2 имеет электронный блок передачи данных на компьютер с интервалом в одну секунду. В ночное время при низком потреблении воды из поилок 12 проточный водонагреватель 7 и электронагреватели 13 периодически включаются, причем при помощи датчиков температуры 5 и 14 обеспечиваются пониженная температура воды и минимальный расход энергии в это время. Циркуляционный насос 6 исключает замерзание воды в водопроводе, расположенном в неотапливаемом помещении.

Результаты исследований

Длина водопровода в неотапливаемом помещении для коров составляет L , м, сечение водопроводной полипропиленовой трубы РН 25, утепленной энергофлексом, показано на рисунке 2.

Пусть $T(x, t)$ – температура воды, К, 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 теплоемкость воды, Дж/(кг·К);

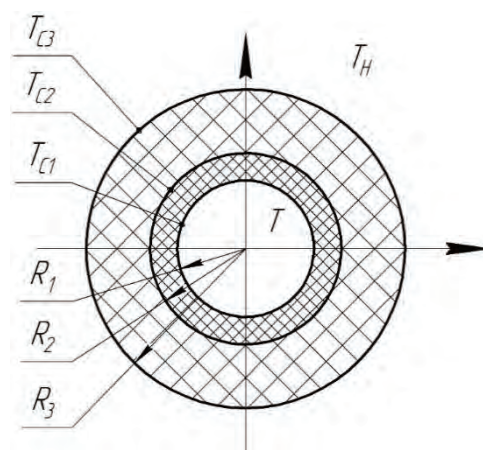


Рис. 2 – Сечение трубы

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

При рассмотрении распределения температуры в установившемся режиме первое слагаемое в уравнении (1) можно принять равным нулю. Кроме того, вклад второго слагаемого в общую сумму будет ничтожно малым по сравнению со вкладом третьего, поэтому слагаемое 2 также можно опустить. В результате получим следующее дифференциальное уравнение:

$$c\rho_1 v \frac{dT}{dx} = Q, \quad (2)$$

где $\rho_1 = \rho S$.

Отметим, что нами также была исследована математическая модель при сохранении второго слагаемого – результаты оказались практически неразличимыми.

Рассчитаем тепловой поток 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, приходящийся на единицу длины трубы, можно записать четырьмя 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 эти 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 этого 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 найдем из условия (4):

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

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

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

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

$$\begin{aligned} Q_L &= -\int_0^L K[T_H - T(x)]dx = K(T_0 - T_H) \int_0^L e^{-\frac{Kx}{c\rho_1 v}} dx = \\ &= \frac{K(T_0 - T_H)}{-K} \cdot c\rho_1 v e^{-\frac{Kx}{c\rho_1 v}} \Big|_0^L = (T_0 - T_H) c\rho_1 v \left(1 - e^{-\frac{KL}{c\rho_1 v}} \right). \end{aligned} \quad (6)$$

Легко убедиться в том, что производная этой функции по переменной 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 движения воды. Следовательно,

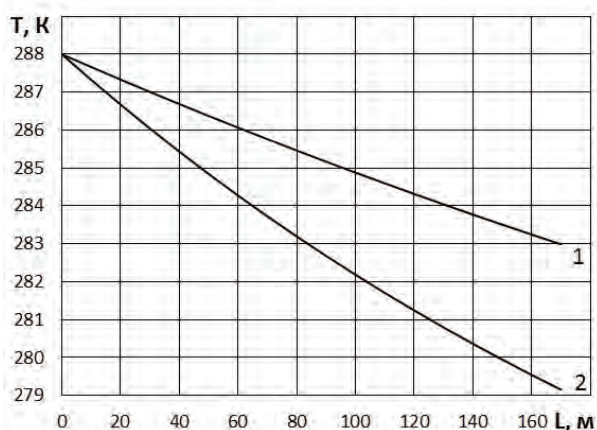


Рис. 3 – Зависимости температуры T воды от длины L водопровода при производительности циркуляционного насоса $0,19 \text{ м}^3/\text{ч}$ (скорость движения воды $0,241 \text{ м/с}$): 1 - полипропиленовая труба PN25 с утеплителем из энергофлекса; 2 - полипропиленовая труба PN25 без утеплителя

скорость нужно выбирать минимально возможной с учетом 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.

Численный анализ уравнений (5) и (6) проводили при известных теплофизических свойствах воды [11] с учетом следующих исходных данных: длина водопровода в неотпливаемом помещении $L = 170 \text{ м}$, размеры сечения водопровода $R_1 = 8,3 \text{ мм}$, $R_2 = 12,5 \text{ мм}$, $R_3 = 18,5 \text{ мм}$, температура воздуха снаружи трубы $T_H = 268 \text{ К}$, температура воды в начале водопровода $T_0 = 288 \text{ К}$, коэффициенты теплопроводности полипропилена и энергофлекса соответственно $\lambda_2 = 0,15 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ и $\lambda_3 = 0,038 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, коэффициенты теплоотдачи от воды к стенке и от стенки к воздуху соответственно $\alpha_1 = 400 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ и $\alpha_2 = 15 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$. Результаты представлены на рисунках 3 и 4.

При теплоизоляции трубопровода энергофлексом толщиной 6 мм градиент температуры воды в водопроводе уменьшается с 9 К до 5 К (рис.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 (рис. 4). Минимальная температура воды, комфортная для поения коров, составляет $+10 \text{ }^\circ\text{C}$ (283 К). Такая температура

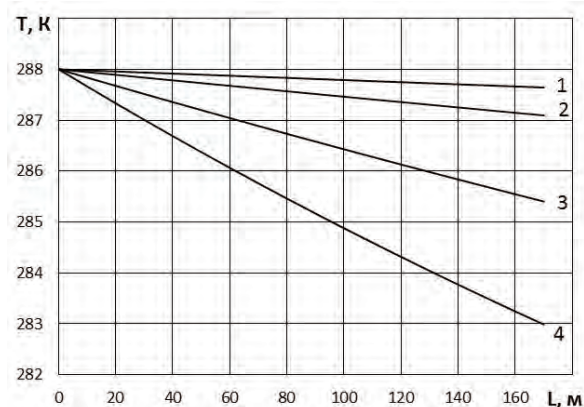


Рис. 4 - Зависимости температуры T воды от длины L водопровода для теплоизолированной трубы при различных скоростях движения воды:

1 - = $3,85 \text{ м/с}$; 2 - = $1,5 \text{ м/с}$; 3 - = $0,5 \text{ м/с}$; 4 - = $0,241 \text{ м/с}$

воды будет в конце водопровода при скорости движения воды = $0,241 \text{ м/с}$, т.е. при производительности циркуляционного насоса $0,19 \text{ м}^3/\text{ч}$ (кривая 4), которую и следует считать оптимальной. При этом теплопотери в единицу времени в водопроводе согласно формуле (6) составят 1249 Вт для теплоизолированной трубы и 2508 Вт для трубы без теплоизоляции.

Выводы

Теоретическими исследованиями установлено, что оптимальная производительность циркуляционного насоса составляет $0,19 \text{ м}^3/\text{ч}$, и она зависит от температуры воздуха в коровнике T , длины водопровода L и теплофизических характеристик δ , λ , α трубопровода для подачи воды. Оптимизация параметров устройства для поения позволяет обеспечить снабжение коров водой оптимальной температуры при минимальных потерях теплоты.

Библиографический список

1. Хазанов, Е.Е. Технология и механизация молочного животноводства / Е.Е. Хазанов, В.В. Гордеев, В.Е. Хазанов; под общ. ред. Е.Е. Хазанова. – СПб.: Лань, 2016.- 352 с.
2. Adams, R.S. Water intake and quality for dairy cattle / R.S.Adams, W.E. Sharpe // The 10 Pennsylvania State Univeristy, College of Agricultural Sciences, Cooperative Extension. 11 Bulletin DAS 95-8.
3. Нормы технологического проектирования ферм крупного рогатого скота НТП-

АПК1.10.01.001-00. – М.: ГУ ЦНТИ Мелиоводинформ, 2000. – 121 с.

4. Looper, M.L. Water for Dairy Cattle. Guide D-107, New Mexico State University, Cooperative Extension Service, www.cah.nmsu.edu (F-4275 / M.L. Looper, D.N. Waldner // Oklahoma State University, Cooperative Extension Service. - 2002. - № 2.

5. Mader, T.L. A comprehensive index for assessing environmental stress in animals / T.L. Mader, L.J. Johnson, J.B. Gaughan // Erratum, Journal of Animal Science. – 2010. - № 88 (6). - p.2153-2165.

6. Multiresistant *Pseudomonas aeruginosa* outbreak associated with contaminated tar water in a neurosurgery intensive care unit / F. Bert, E. Maubec, B. Bruneau, P. Berry, N. Lambert-Zechovsky // J Hosp Infection. – 1998. - № 39. - P. 53-62.

7. Beede, D.K. Evaluation of Water Quality

and Nutrition for Dairy Cattle, High Plains Dairy Conference / D.K. Beede. - 2006. - 24 p.

8. Linn, J. Water Quality and Quantity for Dairy Cattle / J. Linn, M. Raeth-Knight. - University of Minnesota, 2010. - 5 p.

9. Циркуляционная система водоснабжения в коровнике с подогревом / Г.П. Юхин, А.А. Катков, З.В. Макаровская, А.А. Аверкиев // Известия Оренбургского ГАУ. – 2015. - № 5. - С. 58-61.

10. Резервы экономии электроэнергии при организации поения животных на молочных фермах / Г.П. Юхин, А.А. Катков, Р.А. Хамматов, П.В. Ковалев // Известия Оренбургского ГАУ. – 2017. - № 6. - С. 120-123.

11. Кошевой, Е.П. Практикум по расчетам технологического оборудования пищевых производств / Е.П. Кошевой. – СПб: ГИОРД, 2005. – 232 с.

PARAMETER JUSTIFICATION OF A DEVICE FOR GIVING HEATED WATER TO COWS

Katkov A.A., Lukmanov R. L., Kovalev P. V.

FSBEI HE Bashkir SAU

450001, Ufa, 50 years of October st., 34; tel. : 8 (347) 252-72-52;

e-mail: gpet1@yandex.ru

Key words: giving water to cows, auto-drinker, water heating, heat loss, water temperature, circulating pump.

To obtain high productivity of cows, it is necessary to ensure free access of all animals to drinkers, especially after feeding and milking. We have developed a device for uninterrupted supply of water of appropriate temperature to animals. The device includes a circulating pump, a flow electric heater, temperature sensors, a control station, a water supply system for supplying water to automatic drinking machines, and a water measuring device with an electronic unit that transmits data to a computer once a second. Comfortable drinking water temperature is maintained with the help of temperature sensors. At night, when the animals have rest and practically do not consume water, a lower water temperature is established to save electricity. A mathematical model of heated flow in the water pipe for the steady process has been constructed. It is revealed that the influence of heat conduction in the water flow can be neglected. Analysis of the obtained equations showed that the power of heat losses along the entire length of the pipe monotonously decreases with decreasing of water velocity, that is, with decreasing of circulating pump performance. However, the water temperature decreases more intensively. With appropriate performance of the circulation pump, the water temperature at the end of the water supply should be equal to the minimum comfortable temperature for cow drinking. It was revealed that the performance of the circulating pump depends on the air temperature in the barn, the length of the water supply system and the thermal characteristics of the water supply system.

Bibliography

1. Khazanov, E.E. Technology and mechanization of dairy farming / E.E. Khazanov, V.V. Gordeev, V.E. Khazanov; edited by E.E. Khazanov. - SPb.: Lan, 2016.- 352 p.

2. Adams, R.S. Water intake and quality for dairy cattle / R.S. Adams, W.E. Sharpe // The 10 Pennsylvania State University, College of Agricultural Sciences, Cooperative Extension. 11 Bulletin DAS 95-8.

3. Standards of technological design of cattle farms NTP-APK1.10.01.001-00. - М.: Center for Scientific and Technical Information "Meliovodinform, 2000. - 121 p.

4. Looper, M.L. Water for Dairy Cattle. Guide D-107, New Mexico State University, Cooperative Extension Service, www.cah.nmsu.edu (F-4275 / M.L. Looper, D.N. Waldner // Oklahoma State University, Cooperative Extension Service. - 2002. - № 2.

5. Mader, T.L. A comprehensive index for assessing environmental stress in animals / T.L. Mader, L.J. Johnson, J.B. Gaughan // Erratum, Journal of Animal Science. – 2010. - № 88(6). - p.2153-2165.

6. Multiresistant *Pseudomonas aeruginosa* outbreak associated with contaminated tar water in a neurosurgery intensive care unit / F. Bert, E. Maubec, B. Bruneau, P. Berry, N. Lambert-Zechovsky // J Hosp Infection. – 1998. - № 39. - P. 53-62.

7. Beede, D.K. Evaluation of Water Quality and Nutrition for Dairy Cattle, High Plains Dairy Conference / D.K. Beede. - 2006. - 24 p.

8. Linn, J. Water Quality and Quantity for Dairy Cattle / J. Linn, M. Raeth-Knight. - University of Minnesota, 2010. - 5 p.

9. Circulating water supply system in the barn with heating / G.P. Yukhin, A.A. Katkov, Z.V. Makarovskaya, A.A. Averkiev // Izvestiya of Orenburg State Agrarian University. - 2015. - № 5. - P. 58-61.

10. Energy saving reserves when organizing drinking of animals on dairy farms / G.P. Yukhin, A.A. Katkov, R.A. Khammatov, P.V. Kovalev // Izvestiya of Orenburg State Agrarian University. - 2017. - № 6. - P. 120-123.

11. Koshevoy, E.P. Practice on calculation of technological equipment for food production / E.P. Koshevoy. - SPb: GIORД, 2005. - 232 p.

5