

УДК 621.335.5: 631

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-352-9-142-145>

Краткий обзор/Brief review

**Байрамов Т.Х.<sup>1</sup>,  
Мамедов Г.Б.<sup>2</sup>**<sup>1</sup> Азербайджанский научно-исследовательский институт «Агромеханика»<sup>2</sup> Азербайджанский государственный аграрный университет, Az 2000, Гянджа, Республика Азербайджан

E-mail: m\_qabil@rambler.ru

**Ключевые слова:** электронагреватели, электрическое поле, магнитное поле, диэлектрическая проницаемость, объемная плотность, магнитная проницаемость, плотность тока**Для цитирования:** Байрамов Т.Х., Мамедов Г.Б. Исследование процесса тепловой обработки молока в цилиндрическом пастеризаторе. Аграрная наука. 2021; 352 (9): 142–145.<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-352-9-52-60>**Конфликт интересов отсутствует****Tarkhan Kh. Bayramov<sup>1</sup>,  
Gabil B. Mammadov<sup>2</sup>**<sup>1</sup> Azerbaijan Scientific Research Institute "Agromechanics"<sup>2</sup> Azerbaijan State Agrarian University, Az 2000, Ganja, Republic of Azerbaijan

E-mail: m\_qabil@rambler.ru

**Key words:** electric heaters, electric field, magnetic field, dielectric constant, bulk density, magnetic permeability, current density**For citation:** Bayramov T.Kh., Mammadov G.B. Research of the process of thermal processing of milk in a cylindrical pasteurizer. Agrarian Science. 2021; 352 (9): 142–145. (In Russ.)<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-352-9-142-145>**There is no conflict of interests**

# Исследование процесса тепловой обработки молока в цилиндрическом пастеризаторе

## РЕЗЮМЕ

Цилиндрические коаксиальные нагреватели все чаще применяются в сельскохозяйственном производстве. Однако широкое их использование сдерживается тем, что все еще требуется дополнить методику расчета, позволяющую при выборе параметров нагревателя учитывать его геометрические размеры, диэлектрическую и магнитную проницаемость, поверхностный эффект и эффект близости, неравномерность распределения электрического и магнитного полей вдоль нагревателя и ряд других факторов. Такая задача актуальна при проектировании электронагревателей для производственных нужд фермерских молочно-товарных хозяйств, с учетом чего разработана представленная ниже методика. Такая методика дала положительный эффект применительно к разработке экспериментального электропастеризатора.

# Research of the process of thermal processing of milk in a cylindrical pasteurizer

## ABSTRACT

Cylindrical coaxial heaters are increasingly used in agricultural production. However, their widespread use is restrained by the fact that it is still necessary to supplement the calculation methodology, which would make it possible to take into account its geometric dimensions, dielectric and magnetic permeability, surface effect and proximity effect, uneven distribution of electric and magnetic fields along the heater, and a number of other factors when choosing the parameters of the heater. Such a task is relevant in the design of electric heaters for the production needs of dairy farms, taking into account what the methodology presented below has been developed. This technique gave a positive effect in relation to the development of an experimental electric pasteurizer.

Поступила: 5 марта  
После доработки: 15 июня  
Принята к публикации: 11 сентября

Received: 5 March  
Revised: 15 June  
Accepted: 11 september

### Введение

Конструктивной особенностью большинства разрабатываемых для фермерских хозяйств пастеризаторов на лучистой или электрической энергии является цилиндрическая форма (коаксиально расположенный цилиндр в цилиндре). Однако для целесообразного и широкого их использования все еще требуется проведение математического анализа процесса, разработка методики расчета, позволяющего при выборе параметров установки учитывать ее геометрические размеры, диэлектрическую и магнитную проницаемость, поверхностный эффект и эффект близости, неравномерность распределения электрического и магнитного полей вдоль нагревателя и ряд других факторов [1, 2, 3]. Разработка такой методики является актуальной.

### Объект и метод исследования

Объектом исследования является электропастеризатор, который представляет собой полый цилиндр, в котором коаксиально установлен электрод (рис. 1).

Между внутренним и внешним электродами имеется зазор. Методика исследования предусматривает теоретический анализ процесса нагревания жидкости в выбранной конструкции [4]. Аналитические исследования проводились методами теоретической электротехники [5, 6, 7] и математического анализа [8].

### Результаты и обсуждение

Обозначим основные размеры коаксиального устройства для тепловой обработки жидкости (молока) в следующем порядке:  $r_1$  — радиус внутреннего цилиндра;  $r_2$  и  $r_3$  — внутренний и внешний радиусы внешнего цилиндра.

$S = l\delta$  ( $l$  — длина рассматриваемого участка нагревателя;  $\delta$  — толщина внутреннего электрода).

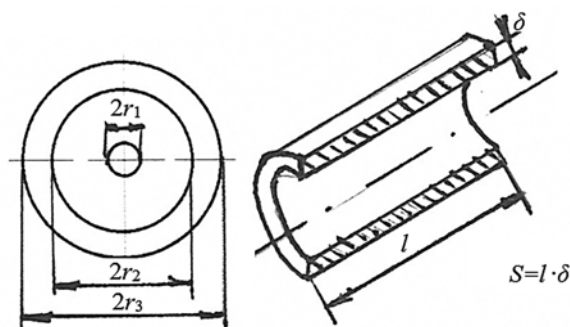
Электромагнитные процессы и режимы работы коаксиальных нагревателей можно представить системой уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{rot} \vec{H} &= \gamma \vec{E} + \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}; \\ \operatorname{rot} \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}; \\ \operatorname{div} \vec{D} &= \rho; \\ \operatorname{div} \vec{B} &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $\vec{H}$  — вектор напряженности магнитного поля, А·м<sup>-1</sup>;  $\gamma$  — удельная проводимость, Ом<sup>-1</sup>·м<sup>-1</sup>;  $\vec{E}$  — вектор напряженности электрического поля, В·м<sup>-1</sup>;  $\varepsilon_0$  — диэлектрическая проницаемость вакуума,  $\varepsilon_0 = 8,855 \cdot 10^{-12}$  Ф/м;  $t$  — время, с;  $\vec{B}$  — вектор магнитной индукции, В·с·м<sup>-2</sup>;

Рис. 1. Схема пастеризатора

Fig. 1. The scheme of the pasteurizer



$\vec{D}$  — вектор электрического смещения, А·с·м<sup>-2</sup>;  $\rho$  — объемная плотность электрического заряда, Кл·м<sup>-3</sup>.

Основные векторы, характеризующие электромагнитное поле:

$$\left. \begin{aligned} \vec{D} &= \varepsilon_a \vec{E}; \\ \vec{E} &= \mu_a \vec{H}; \\ \vec{J} &= j \vec{E}; \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где  $\varepsilon_a$  и  $\mu_a$  — абсолютные диэлектрическая и магнитная проницаемости;  $j$  — вектор плотности тока, Гн/м.

Постоянные, характеризующие диэлектрические и магнитные свойства материала:

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_a &= \varepsilon_0 \varepsilon; \\ \mu_a &= \mu_0 \mu, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где  $\varepsilon$  и  $\mu$  — относительные диэлектрическая и магнитная проницаемости материала  $\mu_0 = 1,256 \cdot 10^{-6}$  В·с.

В диапазоне частот 50–10000 Гц током смещения обычно пренебрегают. В нашем случае это означает, что мы не принимаем во внимание поле, излучаемое нагревателем. Тогда система уравнений (1) упростится:

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{rot} \vec{H} &= \gamma \vec{E}; \\ \operatorname{rot} \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}; \\ \operatorname{div} \vec{D} &= \rho; \\ \operatorname{div} \vec{B} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Для такого нагревателя удобно применять цилиндрическую систему координат. Введем дополнительные обозначения и перейдем от векторной формы записи к проекциям поля на оси координат:  $E_\alpha$ ,  $E_r$ ,  $E_z$  и  $H_\alpha$ ,  $H_r$ ,  $H_z$  — распределения напряженностей электрического и магнитного полей нагревателя по углу к его продольной оси, радиусу  $r$  и длине нагревателя. Так как конструкция нагревателя симметрична, можно считать, что  $E=0$  (нет составляющих электрического поля, распределенных под углом  $\alpha$ ),  $H_z = 0$  (протеканием тока по радиусу пренебрегаем),  $H_r = 0$  (магнитные поля центрального и внешнего электродов находятся в противофазе) [9, 10, 11].

Дополнительное условие  $E_z = E_0(1 - z/l)e^{j\omega t}$  соответствует предположению, что в центральном электроде напряжение распределяется линейно.

В соответствии со сделанными допущениями можно записать:

$$\left. \begin{aligned} E_\alpha &= 0; \\ E_r &= E(r, z)e^{j\omega t}; \\ E_z &= E_0(1 - \frac{z}{l})e^{j\omega t}; \\ H_\alpha &= H_0(r, z)e^{j\omega t}; \\ H_r &= 0; \\ H_z &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Тогда первое уравнение системы (4) будет выглядеть так:

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{rot}_z \vec{H} &= \gamma_z E_z = J_z; \\ \operatorname{rot}_\alpha \vec{H} &= 0; \\ \operatorname{rot}_r \vec{H} &= \gamma_r E_r \approx 0. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

В последней формуле системы (6)  $\gamma_r \rightarrow 0$ , так как полагаем, что зазор между внутренним и наружным электродами заполнен диэлектриком.

В цилиндрической системе координат с осью  $z$ , совпадающей с осью симметрии коаксиальной конструкции, система (6) примет вид [12, 13]

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{r} \left\{ \frac{\partial}{\partial r} (rH_\alpha) - \left( \frac{\partial H_r}{\partial \alpha} \right) \right\}_{\rightarrow 0} &= J_z; \\ \left( \frac{\partial H_r}{\partial z} \right)_{\rightarrow 0} - \left( \frac{\partial H_z}{\partial r} \right)_{\rightarrow 0} &= 0; \\ \frac{1}{r} \frac{\partial H_z}{\partial \alpha} - \frac{\partial H_\alpha}{\partial z} &\approx 0. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Последние два уравнения системы (7) тождественны, поскольку из условий (5) видно, что если функции равны нулю, то и их производные обращаются в нуль.

Пренебрегая составляющей магнитного поля, создаваемого током смещения  $dH_\alpha/dz$ , получим:

$$\frac{1}{r} \left\{ \frac{\partial}{\partial r} (rH_\alpha) \right\} = J_z. \quad (8)$$

Аналогично в цилиндрических координатах запишем и вторую формулу системы (4):

$$\left. \begin{aligned} \left( \frac{\partial \bar{B}}{\partial t} \right)_z &= -\frac{1}{r} \left\{ \frac{\partial}{\partial r} (rE_\alpha) - \frac{\partial E_r}{\partial \alpha} \right\}; \\ \left( \frac{\partial \bar{B}}{\partial t} \right)_\alpha &= -\frac{\partial E_r}{\partial z} + \frac{\partial E_z}{\partial r}; \\ \left( \frac{\partial \bar{B}}{\partial t} \right)_r &= -\frac{1}{r} \frac{\partial E_z}{\partial \alpha} - \frac{\partial E_\alpha}{\partial z}. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Затем, исходя из тех же соображений, будем иметь:

$$\left. \begin{aligned} \left( \frac{\partial B_z}{\partial t} \right)_{\rightarrow 0} &= -\frac{1}{r} \left\{ \frac{\partial}{\partial r} (rE_\alpha) - \left( \frac{\partial E_r}{\partial \alpha} \right) \right\}_{\rightarrow 0}; \\ \frac{\partial B_\alpha}{\partial t} &= -\frac{\partial E_r}{\partial z} + \frac{\partial E_z}{\partial r}; \\ \left( \frac{\partial B_z}{\partial t} \right)_{\rightarrow 0} &= -\frac{1}{r} \left( \frac{\partial E_z}{\partial \alpha} \right)_{\rightarrow 0} + \left( \frac{\partial E_\alpha}{\partial z} \right)_{\rightarrow 0}. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

При этом  $\frac{\partial E_r}{\partial \alpha} = \frac{\partial E_z}{\partial \alpha} \rightarrow 0$ , так как  $E_z$  и  $E_r$  не зависят от угла  $\alpha$ , хотя сами функции и не равны нулю. Производные  $\frac{\partial B_z}{\partial t} = \frac{\partial B_r}{\partial t} = 0$ , поскольку изменение индукции связано только с  $J_z$ . Следовательно, изменение магнитной индукции в выбранной конструкции можно выразить таким образом:

$$\frac{\partial B_\alpha}{\partial t} = -\frac{\partial E_r}{\partial z} + \frac{\partial E_z}{\partial r}. \quad (11)$$

Окончательно процессы, происходящие в нагревателе, можно описать в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} J_z &= \frac{1}{r} \left\{ \frac{\partial}{\partial r} (rH_\alpha) \right\}; \\ \mu_a \frac{\partial H_\alpha}{\partial t} &= -\frac{1}{r} \left\{ \frac{\partial}{\partial z} (rH_\alpha) \right\}; \\ J_z &= \gamma_z E_z; \\ J_r &= \varepsilon_r \frac{\partial E_r}{\partial t}. \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Определяя полную силу тока в принятой конструкции нагревателя, можно проинтегрировать выражение  $J_z$  по всему сечению внутреннего электрода [14, 15]:

$$J = \int_0^{r_1} 2J_z \pi r dr = (\pi \gamma_z \alpha e^{\rho r_1} \sqrt{r_1}) p^{-1} \left\{ \sin \left[ \omega t + \frac{\pi}{8} \right] - \cos \left[ \omega t + \frac{\pi}{8} \right] \right\}. \quad (13)$$

Поле в зазоре цилиндрического конденсатора выражается как  $E_r = A(z)/r$ . Подставляем начальные условия при  $\omega = 0$ :

$$\begin{aligned} U(1 - \frac{z}{l}) &= 2\pi \int_{r_1}^{r_2} E_r dr = \\ &= 2\pi \int_{r_1}^{r_2} \varepsilon_a \frac{A(z)}{r} dr = 2\pi A(z) \varepsilon_a \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = 2\pi A(z) \varepsilon_a \ln \frac{r_2}{r_1}, \end{aligned} \quad (14)$$

откуда

$$A(z) = \frac{U_m(1 - \frac{z}{l})}{2\pi \ln \frac{r_2}{r_1} \varepsilon_a} \Big|_{t=0} \quad (15)$$

а в любой момент времени

$$E = \frac{U_m(1 - \frac{z}{l})}{2\pi \ln \frac{r_2}{r_1} \varepsilon_a} e^{j\omega t}, \quad (16)$$

где  $U$  и  $U_m$  — действующее и максимальное напряжения.

Затем следует рассчитать мощность нагревателя в зависимости от условий окружающей среды. Поэтому необходимо определить температурные режимы работы системы «нагреватель — окружающая среда». Опишем тепловой режим выбранной конструкции (коаксиального нагревателя):

$$\left. \begin{aligned} \lambda_1 \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial T_1}{\partial r} \right) + q_{VI} &= c_1 \rho_1 \frac{\partial T_1}{\partial t}; \\ \lambda_2 \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial T_2}{\partial r} \right) &= c_2 \rho_2 \frac{\partial T_2}{\partial t}; \\ \lambda_1 \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial T_3}{\partial r} \right) + q_{VII} &= c_1 \rho_1 \frac{\partial T_3}{\partial t}, \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

где  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  — коэффициент теплопроводности электрода и воздушной среды, Вт·м<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup>;  $T_1$ ,  $T_2$  и  $T_3$  — температуры наружного, внутреннего электродов и воздуха, К;  $q_{VI}$  и  $q_{VII}$  — объемные тепловыделения во внутреннем и наружном электродах, Вт·м<sup>-3</sup>;  $c_1$  и  $c_2$  — удельные теплоемкости электродов и воздушной среды, Дж·кг<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup>;  $\rho_1$  и  $\rho_2$  — плотности электродов и воздушной среды, кг·м<sup>-3</sup>;  $t$  — время, с.

Начальные условия:  $T_1 = T_2 = T_3|_{t=0} = T_0$ . Граничные условия:  $T_1|_{r=r_1} = T_2|_{r=r_1}$ ;  $T_2|_{r=r_2} = T_3|_{r=r_2}$ ;  $T_1|_{r \rightarrow 0}$  ограничено.

Представленная методика использована при расчете проектирования экспериментального электропастеризатора для фермерских хозяйств [17]. Экспериментальный пастеризатор был испытан в лабораторных условиях при малом диапазоне производительности 100–250 л/ч. В ходе испытания проверялся пастеризационный эффект при температуре 83°C. Было установлено, что пастеризация сопровождается резким снижением содержания микроорганизмов, не вызывая при

этом существенных изменений в количестве белков и витаминов. Пробы молока для анализа отбирались в начале, середине и конце испытания. Продолжительность каждого опыта составляла 0,5 часа. Эффективность пастеризации молока при температуре 83°C составляла 99,25–99,51%, причем вкусовые качества молока остались без изменения. Срок сохранности отработанного молока при +8°C составлял одну неделю, а при хранении без охлаждения — 24 часа. Расход удельной электроэнергии составлял 12,8 Вт·ч/л. Можно заметить, что использование экспериментального пастеризатора не вызывает химических процессов, физико-химические свойства и химический состав молока после пастеризации не изменялись. Количественный состав витаминов группы А и С практически не изменяется. Содержание витамина D<sub>3</sub> в одном литре молока достигает 1600–1800 М.Е., что вполне достаточно по зоотехническим нормам здорового выращивания молодняка. По сравнению с тепловым пастеризатором, обработка молока на экспериментальном пастеризаторе по расчетным данным обеспечивает снижение затрат труда в 2 раза, приведенных затрат — в 3,2, капитальных вложений — в 2,5 раза.

Более сильное бактерицидное действие по сравнению с традиционной тепловой обработкой объясняется тем, что при использовании электропастеризатора тепло к микроорганизмам подводится не только извне,

но и за счет поглощения, генерируется внутри самих микроорганизмов, вызывая кроме того поляризацию их структуры. Под воздействием этих двух факторов микроорганизмы погибают гораздо быстрее. Процесс пастеризации проходит в течение 2–3 секунд при заданной температуре. При этом температуру пастеризации можно снизить, вследствие чего жиры, белки, углеводы и витамины разрушаются гораздо в меньшей степени. Еще одним преимуществом пастеризации молока экспериментальным пастеризатором является то, что воздействие на продукт происходит равномерно, так как излучение проникает вглубь одновременно по всему объему. Благодаря мгновенному воздействию потока энергии, создаются необходимые условия для ликвидации токсичной и балластной микрофлоры, что обеспечивает повышенную, по сравнению с другими методами, сохранность продукта. При этом предохраняются от разрушения полезные биологические структуры. Это приводит к увеличению сроков хранения молока.

### Закключение

Получены формулы расчета тепловых режимов электропастеризатора, представленного в виде цилиндрического нагревателя. Разработанная методика использована при проектировании экспериментального пастеризатора, проявившего себя на практике положительными результатами.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Кузовкин, В.А. Теоретическая электротехника: Учебник / В.А. Кузовкин. - М.: Лотос, 2006. - 480 с.
2. Инкин, А.И. Специальные главы электротехники. Электротепловые поля и аналитические расчеты параметров проводников в установках электронагрева / А.И. Инкин, А.В. Бланк, А.И. Алиферов. - Новосибирск: ГТУ, 2018. - 156 с.
3. Электротермические установки: Учебное пособие / Б.А. Сокунов, Л.С. Грובה. - Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ, 2004. - 122 с.
4. Конакова, Е.В. Исследование нестационарных режимов работы микротермоэлектротермогенератора с интегрированным нагревательным элементом / Е.В. Конакова // Инновации в науке. - 2017, №9(70). - с. 54-57.
5. Афонин, В.В. Сборник задач по электротехнике: Учебное пособие / В.В. Афонин, А.А. Ткаченко. - Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2004. - 80 с.
6. Лоторейчук, Е.А. Расчет электрических и магнитных цепей и полей. Решение задач / Е.А. Лоторейчук. - М.: Форум Инфра-М, 2009. - 272 с.
7. Евсеев, М.Е. Теоретические основы электротехники / М.Е. Евсеев. - СПб: СЗТУ, 2006. - 244 с.
8. Гурьянова, К.Н. Математический анализ: Учебное пособие / К.Н. Гурьянова, У.А. Алексеев, В.В. Бояршинов. - Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2014. - 330 с.
9. Бладыко, Ю.В. Сборник задач по электротехнике и электронике / Ю.В. Бладыко, Т.Т. Розум, Ю.А. Куварзин, С.В. Домников, Г.В. Заевская. - М.: Высшая школа, 2012. - 480 с.
10. Электрооборудование электротермических установок: методические указания / сост. Е.А. Печегин, Ж.А. Зарандия. - Тамбов: Изд-во Тамбовский ГТУ, 2008. - 32 с.
11. Драгилев, А.И. Технологические машины и аппараты пищевых производств / А.И. Драгилев. - М.: Колос, 1999. - 376 с.
12. Газалов, В.С. Электротехнология: Учебное пособие / В.С. Газалов, В.Н. Беленов. - Зерноград: АЧИИ ФГБОУ ВПО ДОНГАУ, 2016. - 197 с.
13. Электротехнология. Том 2. Электронагрев: методические указания / сост. М.Я. Ашмарин, А.А. Лысаков. - Ставрополь: Изд-во СтГАУ «АГРУС», 2007. - 40 с.
14. Шандарова, Е.Б. Теоретические основы электротехники: Учебное пособие / Е.Б. Шандарова. - Томск: Изд-во Томского Политехнического университета, 2009. - 111 с.
15. Герасимова, Г.Н. Сборник задач по теоретическим основам электротехники, ч.1 / Г.Н. Герасимова, Л.В. Глушак, М.А. Кац, Н.В. Киншт, Л.С. Цовбун, А.Н. Шеин, В.С. Яблоко-ва. - Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2004. - 112 с.
16. Смышляева, Л.Г. Преобразование Лапласа функций многих переменных / Л.Г. Смышляева. - Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1981. - 144 с.
17. Байрамов, Т.Х. Изучение перспективных методов пастеризации молока для фермерского хозяйства / Т.Х. Байрамов // Аграрный научный журнал. - 2020, №6. - с. 76-80.

### REFERENCES

1. Kuzovkin, V. A. Theoretical electrical engineering: Textbook / V. A. Kuzovkin. - M.: Lotos, 2006. - 480 p.
2. Inkin, A. I. Special chapters of electrical engineering. Electrothermal fields and analytical calculations of conductor parameters in electric heating installations / A. I. Inkin, A. V. Blank, A. I. Aliferov. - Novosibirsk: GTU, 2018. - 156 p.
3. Electrothermal installations: A textbook / B. A. Sokunov, L. S. Grobova. - Yekaterinburg: State Educational Institution of Higher Education of USTU, 2004. - 122 p.
4. Konakova, E. V. Investigation of non-stationary modes of operation of a microthermoelectric generator with an integrated heating element / E. V. Konakova // Innovations in science. - 2017, No. 9(70). - pp. 54-57.
5. Afonin, V. V. Collection of problems in electrical engineering: A textbook / V. V. Afonin, A. A. Tkachenko. - Tambov: Publishing house of TSTU, 2004. - 80 p.
6. Lotoreychuk, E. A. Calculation of electric and magnetic circuits and fields. Solving problems / E. A. Lotoreychuk. - M.: Forum Infra-M, 2009. - 272 p.
7. Evseev, M. E. Theoretical foundations of electrical engineering / M. E. Evseev. - St. Petersburg: NWTU, 2006. - 244 p.
8. Guryanova, K. N. Mathematical analysis: A textbook / K. N. Guryanova, U. A. Alekseev, V. V. Boyarshinov. - Yekaterinburg: Publishing house of the Ural University, 2014. - 330 p.
9. Bladyko, Yu. V. Collection of problems in electrical engineering and electronics / Yu. V. Bladyko, T. T. Rozum, Yu. A. Kuvarzin, S. V. Domnikov, G. V. Zgaevskaya. - Moscow: Higher School, 2012. - 480 p.
10. Electrical equipment of electrothermal installations: methodological guidelines / comp: E. A. Pechagin, Zh. A. Zarandiya. - Tambov: Publishing house of Tambov State Technical University, 2008. - 32 p.
11. Dragilev, A. I. Technological machines and apparatuses of food production / A. I. Dragilev. - M.: Kolos, 1999. - 376 p.
12. Gazalov, V. S. Electrotechnology: A textbook / V. S. Gazalov, V. N. Belenov. - Zernograd: ACHII FGBOU VPO DONGAU, 2016. - 197 p.
13. Electrical engineering. Volume 2. Electric heating: methodological guidelines / comp: M. Ya. Ashmarin, A. A. Lysakov. - Stavropol: Publishing house of StGAU "AGRUS", 2007. - 40 p.
14. Shandarova, E. B. Theoretical foundations of electrical engineering: A textbook / E. B. Shandarova. - Tomsk: Publishing house of Tomsk Polytechnic University, 2009. - 111 p.
15. Gerasimova, G. N. Collection of problems on the theoretical foundations of electrical engineering, part 1 / G. N. Gerasimova, L. V. Glushak, M. A. Katz, N. V. Kinsht, L. S. Tsovbun, A. N. Shein, V. S. Yablokova. - Vladivostok: Publishing house of DVSTU, 2004. - 112 p.
16. Smyshlyaeva, L. G. Laplace transformation of functions of many variables / L. G. Smyshlyaeva. - L.: Leningrad University Publishing House, 1981. - 144 p.
17. Bayramov, T. H. The study of promising methods of pasteurization of milk for farming / T. H. Bayramov // Agrarian scientific Journal. - 2020, No. 6. - pp. 76-80.