

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА /  
/ POWER SUPPLY AND AUTOMATION OF AGRICULTURAL PRODUCTION  
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL ARTICLE

УДК 664.8.022.1

DOI 10.26897/1728-7936-2018-6-65-69

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ТЕРМОСМЕШИВАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ В ЛИНИИ ПЕРЕРАБОТКИ МОЛОКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЛЕКСНОЙ ЭНЕРГОЗАМЕЩАЮЩЕЙ УСТАНОВКИ

**ГЕРБЕР ЮРИЙ БОРИСОВИЧ**, докт. техн. наук, профессор

E-mail: gerber\_1961@mail.ru

**ГАВРИЛОВ АЛЕКСАНДР ВИКТОРОВИЧ**, канд. техн. наук, доцент

E-mail: tehfac@mail.ru

**КИЯН НАТАЛЬЯ СЕРГЕЕВНА**, аспирант, инженер-технолог

E-mail: topippzh@mail.ru

Академия биоресурсов и природопользования Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского; 295492, пос. Аграрное, АбиП КФУ им. В.И. Вернадского, г. Симферополь, Республика Крым

На кафедре технологии и оборудования производства и переработки продукции животноводства КФУ им. В.И. Вернадского проводятся исследования по оптимизации энергетических затрат технологии переработки молока. Исследования энергетических показателей работы термосмешивающей системы в линии производства молочных продуктов по изучению потребляемой мощности проводились с помощью экспериментально-производственной установки. Для замера температуры нагреваемой воды в гелиоколлекторах использовались тарированные термомпары ТХА типа К измерительного восьмиканального блока «Тэра Д-ИТ-8ТП-Э3а-РСТ-2U». Затраты энергии на нагрев продукта определялись путем замера параметров напряжения на тепловых электронагревателях. Результатами проведенных экспериментов подтверждена гипотеза о возможности замены потребляемой электрической энергии на нагрев продукта энергией солнечного излучения, преобразуемой в тепловую посредством комплексной энергозамещающей установки (КЭУ). Приводятся сравнение удельных энергетических затрат в термосмешивающей системе в существующем варианте и в случае использования КЭУ. Также приводятся зависимости величины потребления энергии от объема продукта (от 0,1 до 1,0 т) и удельные энергетические затраты на работу термосмешивающей системы при различных способах подвода теплоносителя. Отмечено, что установка энергозамещающего устройства на основе гелиоколлекторов при температуре окружающего воздуха 20...30°C и величине интенсивности солнечного излучения  $Q_c = 0,45 \dots 1,0$  кВт/м<sup>2</sup> дает возможность снизить суммарные энергозатраты с 11,0 до 2,3 кВт·ч/т. При значениях  $Q_c = 1,0 \dots 1,55$  кВт/м<sup>2</sup> практически вся энергия, расходуемая на нагрев, может быть заменена на бесплатную энергию солнечного излучения. Установлено, что двухконтурная подача теплоносителя в емкость для заквашивания позволяет снизить удельные энергетические затраты на работу системы в среднем на 25% по сравнению с подачей только в рубашку нагрева. В сравнении с существующим базовым вариантом снижение удельных энергозатрат составит 55...78% (в зависимости от погодных условий).

**Ключевые слова:** гелиоколлектор, комплексное энергозамещающее устройство, рамное перемешивающее устройство, теплоноситель, термосмешивающая система, интенсивность солнечного излучения, энергозатраты, энергия.

**Формат цитирования:** Гербер Ю.Б., Гаврилов А.В., Киян Н.С. Энергетические показатели работы термосмешивающей системы в линии переработки молока с использованием комплексной энергозамещающей установки // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2018. № 6(88). С. 65-69. DOI 10.26897/1728-7936-2018-6-65-65-69.

## ENERGY INDICATORS OF THERMO-MIXING SYSTEM OPERATION IN A MILK PROCESSING LINE WITH THE USE OF A COMPLEX ENERGY-SUBSTITUTING INSTALLATION

**YURI B. GERBER**, DSc (Eng), Professor

E-mail: gerber\_1961@mail.ru

**ALEKSANDR V. GAVRILOV**, PhD (Eng), Associate Professor

E-mail: tehfac@mail.ru

**NATALIYA S. KIYAN**, *postgraduate student, engineer-technologist*

E-mail: topippzh@mail.ru

Academy of Life and Environmental Sciences, Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky; 295492, Simferopol, Agrarnoye settlement, the Crimea Republic

The Department of Technology and Technological and Processing Equipment of Livestock Products (Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky) conducts research on the optimization of energy costs of the milk processing technology. Experimental studies of the power consumption of a thermo-mixing installation in a manufacturing line of dairy products have been carried out with the help of an experimental production plant. To measure the temperature of the heated water in the solar collectors the authors have used calibrated thermocouples TXA of K type of a measuring 8-channel block "Tera Д-ИТ-8ТП-Э3а-PST-2U". The energy costs for heating the product have been determined by measuring the voltage parameters on thermal electric heaters. The results of the conducted experiments have confirmed the hypothesis of a possibility of replacing the consumed electric energy by heating the product with solar radiation energy converted into thermal energy by means of a complex energy-substituting installation (CESI). The figures show the comparison of specific energy costs in the thermo-mixing system of the existing version, and in the case of the CESI use. The paper offers a relationship pattern of the energy consumption amount and the product amount – from 0.1 to 1.0 tons; it also shows comparative diagrams of specific energy consumption for the operation of thermo-mixing system at various ways of supplying a heat carrier. It is claimed that the installation of an energy-substituting installation based on solar collectors makes it possible to reduce the total energy consumption at an ambient temperature of 20...30°C from 11.0 to 2.3 kWh/ton at a solar radiation intensity  $Q_c$  of 0.45...1.0 kW/m<sup>2</sup>. At values of  $Q_c$  equaling 1.0...1.55 kW/m<sup>2</sup>, practically all the energy spent on heating can be replaced by free energy of solar radiation. It has been proved that two-circuit supply of a heat-transfer agent to the fermentation tank allows to reduce specific energy costs for the system operation by an average of 25% as compared to its supply to the heating jacket only. In contrast to the existing basic version, the reduction of specific energy consumption will amount to 55...78%, depending on weather conditions.

**Key words:** solar collector, complex energy-substituting installation, frame agitator, heat transfer agent, thermo-mixing system, intensity of solar radiation, energy consumption, energy.

**For citation:** Gerber Yu.B., Gavrilo A.V., Kiy N.S. Energy indicators of thermo-mixing system operation in a milk processing line with the use of a complex energy-substituting installation. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*. 2018; 6(88): 65-69. (in Rus.). DOI: 10.26897/1728-7936-2018-6-65-69.

**Введение.** Современное производство молочных продуктов, включает в себя процессы низкотемпературной обработки, в том числе выдерживание при температуре 32...40°C с целью сквашивания, подогрев до 40...45°C перед сепарированием и другие тепловые процессы в приведенных интервалах. Указанные процессы требуют определенных затрат электрической энергии на подготовку теплоносителя, что повышает себестоимость производства. В то же время существуют способы использования возобновляемой энергии для реализации тепловых процессов при переработке молока [1, 2].

**Цель исследований** – поиск путей повышения эффективности работы термосмешивающей системы в линии переработки молока путем снижения энергетических затрат.

Проведены исследования энергетических показателей работы термосмешивающей системы в линии производства молочных продуктов [3]. Повысить эффективность работы системы путем снижения энергетических затрат предлагается несколькими путями:

- использованием в контуре подготовки теплоносителя комплексной энергозамещающей установки на основе гелиоколлектора (ГК);

- подачей теплоносителя к продукту в емкости одновременно в рубашку нагрева и в полость рамного перемешивающего устройства (РПУ).

Гелиоколлекторы позволяют использовать энергию солнечного излучения, а подача теплоносителя в перемешивающее устройство позволяет оптимизировать нагрев, повысить коэффициент полезного действия теплоносителя, снизить продолжительность нагрева [4-7].

**Материал и методы.** В качестве методов исследований использован эксперимент. Исследования по изучению потребляемой мощности проводились с помощью экспериментально-производственной установки. Для замера температуры нагреваемой воды в гелиоколлекторах использовались тарированные термопары TXA типа К измерительного 8-канального блока «Тэра Д-ИТ-8ТП-Э3а-PST-2U».

Параметры воздуха – влажность и температуру – определяли с помощью прибора «Testo 622». Интенсивность солнечного излучения замеряли с помощью датчика «SP Lite». Для определения затрат потребляемой энергии использовался ваттметр цифровой щитовой серии РК, предназначенный для измерения активной мощности, частоты, напряжения и силы переменного тока в однофазных и трехфазных цепях. Затраты энергии на нагрев продукта определялись путем замера параметров напряжения на тепловых электронагревателях (ТЭНах).

Отбор проб из емкости проводили с помощью специально изготовленного пробоотборника из пищевого алюминия емкостью 300 мл. Частоту вращения мешалки регулировали с помощью вариатора, установленного в системе привода мешалки технологической емкости. Значение частоты вращения определяли с помощью портативного оптического тахометра АТ-6. Диапазон измерения – от 2 до 9999,0 об./мин; ошибка измерений – 0,05%. Температуру продукта в различных точках емкости замеряли с помощью жидкостных термометров типа ТС-4 (молочные термометры) (рис. 1, 2).



Рис. 1. Емкость с приводом перемешивающего устройства

Fig. 1. Tank with a driven mixing device



Рис. 2. Система нагрева с перемешиванием в работе

Fig. 2. Heating system with mixing during the operation

**Результаты и обсуждение.** Результаты проведенных экспериментов подтвердили гипотезу о возможности замены потребляемой электрической энергии на нагрев продукта энергией солнечного излучения, преобразуемой в тепловую посредством комплексной энергозамещающей установки (КЭУ). На рисунке 3 приведены диаграммы сравнения энергетических затрат в термосмешивающей системе в существующем варианте и в случае использования КЭУ при производстве кисломолочных продуктов (например, сметана, кефир) с температурой нагрева в диапазоне  $32...40^{\circ}\text{C}$ . Диаграммы построены для следующих погодных условий: температура окружающего воздуха  $t_a = 10...20^{\circ}\text{C}$ ; интенсивность солнечного излучения для двух вариантов: 1)  $Q_c = 0,45...1,0$  кВт/м<sup>2</sup>; 2)  $Q_c = 1,0...1,55$  кВт/м<sup>2</sup>. Эти данные соответствовали погодно-климатическим показателям весеннего периода (апрель-май), а также осеннего (сентябрь-октябрь). На диаграммах синим цветом показаны значения потребления энергии на работу перекачивающих насосов для теплоносителя и продукта, красным цветом – затраты электрической энергии на нагрев без использования КЭУ, зеленым – расход энергии на нагрев при использовании КЭУ.

Из приведенных диаграмм следует, что в осенний и весенний периоды, когда температура окружающего воздуха составляет от 10 до  $20^{\circ}\text{C}$ , суммарные энергозатраты можно снизить с 11,5 до 7,5 кВт·ч/т при величине интенсивности солнечного излучения  $Q_c = 0,45...1,0$  кВт/м<sup>2</sup>, чему соответствует переменная облачность, пасмурная погода.

При значениях интенсивности солнечного излучения  $Q_c = 1,0...1,55$  кВт/м<sup>2</sup> (ясная солнечная погода) снижение энергетических затрат составляет около 50% (с 11,5 до 5,8 кВт·ч/т). На диаграммах наблюдается незначительный рост потребления энергии в предлагаемом варианте на работу центробежного насоса, что объясняется необходимостью использования помимо насоса для подачи продукта в емкость дополнительного насоса для перекачивания теплоносителя в контуре установки гелиоколлекторов. Несмотря на это, значения суммарного энергопотребления, как указано выше, значительно снижаются.

На рисунке 4 приведены диаграммы сравнения удельных энергетических затрат в термосмешивающей системе для диапазона температуры окружающего воздуха  $t_a = 20...30^{\circ}\text{C}$ , что соответствует летним месяцам Крыма и юга России, а также нескольким неделям мая и сентября.

По аналогии с предыдущим случаем диаграммы построены для двух вариантов значений интенсивности солнечного излучения: 1)  $Q_c = 0,45...1,0$  кВт/м<sup>2</sup>; 2)  $Q_c = 1,0...1,55$  кВт/м<sup>2</sup>.

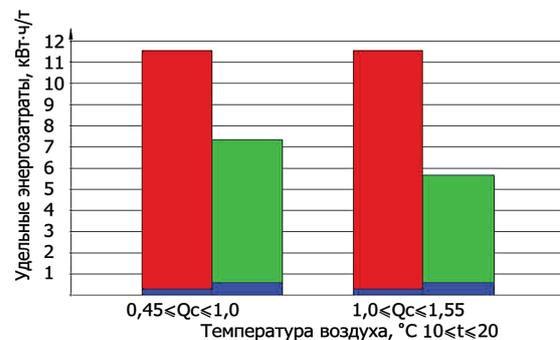


Рис. 3. Сравнительные удельные энергетические затраты на работу термосмешивающей системы при температуре окружающего воздуха  $t_a = 10...20^{\circ}\text{C}$

Fig. 3. Comparative specific energy costs for the operation of the thermo-mixing system at an ambient temperature  $t_a = 10...20^{\circ}\text{C}$

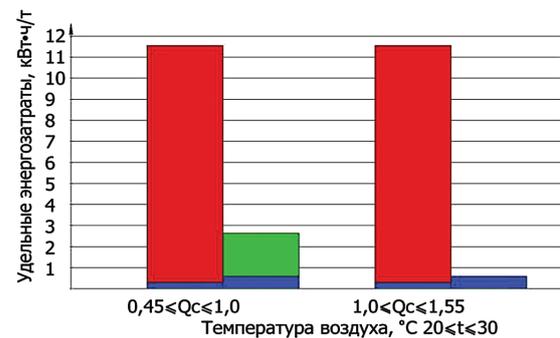
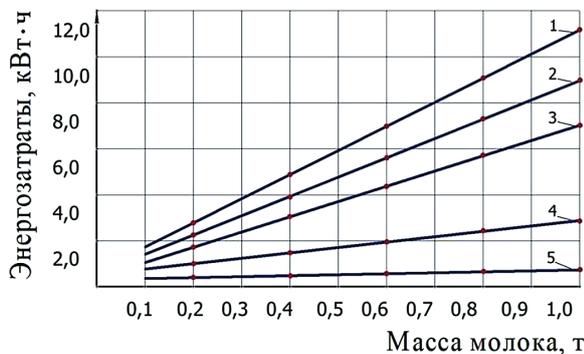


Рис. 4. Сравнительные удельные энергозатраты на работу термосмешивающей системы при температуре окружающего воздуха  $t_a = 20...30^{\circ}\text{C}$

Fig. 4. Comparative specific energy costs for the operation of a thermo-mixing system at an ambient air temperature  $t_a = 20...30^{\circ}\text{C}$

Данные приведенных диаграмм свидетельствуют о том, что в летний сезон при температуре окружающего воздуха от 20 до 30°C суммарные энергозатраты можно снизить с 11,5 до 2,6 кВт·ч/т при величине интенсивности солнечного излучения  $Q_c = 0,45 \dots 1,0$  кВт/м<sup>2</sup>. При значениях  $Q_c = 1,0 \dots 1,55$  кВт/м<sup>2</sup> практически вся энергия, расходуемая на нагрев, может быть заменена на бесплатную энергию солнечного излучения (при рассмотрении низкопотенциальных температурных режимов тепловой обработки до 45°C). При этих условиях расход энергии идет только на работу насосов и составляет около 0,5 кВт·ч/т (рис. 4).

На рисунке 5 приведены графические зависимости величины потребления энергии от объема продукта 0,1...1,0 т. Из приведенных графиков следует, что при использовании предложенных технических решений энергозатраты могут быть снижены в расчете на одну тонну молока с 11 до 3,0 кВт·ч при температуре воздуха около 15°C и величине солнечного излучения 0,45...1,0 кВт/м<sup>2</sup> и с 11 до 0,9 кВт·ч/т при температуре воздуха 20...30°C и солнечном излучении 1,0...1,55 кВт/м<sup>2</sup>.



**Рис. 5. Зависимость удельных энергетических затрат от объема молока:**

- 1 – подогрев продукта с помощью ТЭНов;
- 2-5 – подогрев с помощью КЭУ:
- 2 – параметры воздуха  $t_a = 10 \dots 20^\circ\text{C}$ ,  $Q_c = 0,45 \dots 1,0$  кВт/м<sup>2</sup>;
- 3 – параметры воздуха  $t_a = 10 \dots 20^\circ\text{C}$ ,  $Q_c = 1,0 \dots 1,55$  кВт/м<sup>2</sup>;
- 4 – параметры воздуха  $t_a = 20 \dots 30^\circ\text{C}$ ,  $Q_c = 0,45 \dots 1,0$  кВт/м<sup>2</sup>;
- 5 – параметры воздуха  $t_a = 20 \dots 30^\circ\text{C}$ ,  $Q_c = 1,0 \dots 1,55$  кВт/м<sup>2</sup>

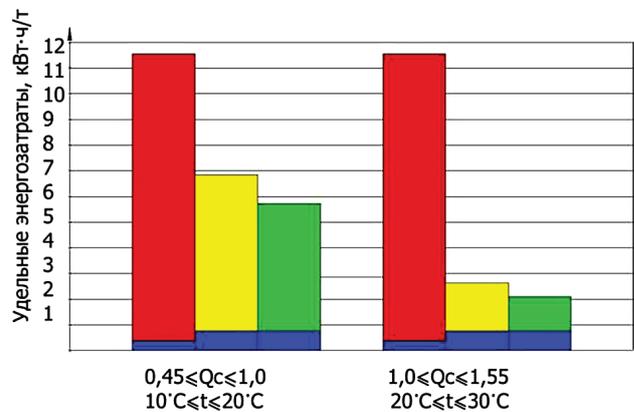
**Fig. 5. Relationship between specific energy costs and the amount of milk:**

- 1 – product heating by means of heating elements;
- 2-5 – heating by means of a complex energy-substituting installation:
- 2 – air parameters  $t_a = 10 \dots 20^\circ\text{C}$ ,  $Q_c = 0.45 \dots 1.0$  kW/m<sup>2</sup>;
- 3 – air parameters  $t_a = 10 \dots 20^\circ\text{C}$ ,  $Q_c = 1.0 \dots 1.55$  kW/m<sup>2</sup>;
- 4 – air parameters  $t_a = 20 \dots 30^\circ\text{C}$ ,  $Q_c = 0.45 \dots 1.0$  kW/m<sup>2</sup>;
- 5 – air parameters  $t_a = 20 \dots 30^\circ\text{C}$ ,  $Q_c = 1.0 \dots 1.55$  kW/m<sup>2</sup>

На рисунке 6 приведены сравнительные диаграммы удельных энергетических затрат на работу термосмешивающей системы при различных способах подвода энергоносителя.

Анализ диаграммы свидетельствует о том, что подача теплоносителя параллельно в рубашку нагрева и в рамную мешалку (два контура) позволяет снизить

удельные энергетические затраты на работу системы в среднем на 25% по сравнению с подачей только в рубашку нагрева. В сравнении с существующим базовым вариантом снижение удельных энергозатрат составит 55...78% (в зависимости от погодных условий).



- - нагрев с помощью ТЭНов;
- - нагрев с помощью гелиоколлекторов с подачей теплоносителя в один контур;
- - нагрев с помощью гелиоколлекторов с подачей теплоносителя в два контура;
- - затраты на работу насосов

**Рис. 6. Сравнительные удельные энергозатраты на работу термосмешивающей системы с различными способами подачи энергоносителя**

**Fig. 6. Comparative specific energy costs for the operation of a thermo-mixing system with various ways of supplying energy**

### Выводы

1. Снизить энергетические затраты на процесс низкопотенциальной тепловой обработки сырья при производстве молочных продуктов возможно при использовании комплексного энергозамещающего устройства (КЭУ) для нагрева теплоносителя, а также двухконтурной подачи теплоносителя к продукту: в рубашку нагрева и в полость РПУ.

2. Установка энергозамещающего устройства на основе гелиоколлекторов дает возможность снизить суммарные энергозатраты с 11,5 до 2,6 кВт·ч/т при температуре окружающего воздуха 20...30°C и величине интенсивности солнечного излучения  $Q_c = 0,45 \dots 1,0$  кВт/м<sup>2</sup>. При значениях  $Q_c = 1,0 \dots 1,55$  кВт/м<sup>2</sup> практически вся энергия, расходуемая на нагрев, может быть заменена на бесплатную энергию солнечного излучения.

3. Двухконтурная подача теплоносителя в емкость для заквашивания позволяет снизить удельные энергетические затраты на работу системы в среднем на 25% по сравнению с подачей только в рубашку нагрева. В сравнении с существующим базовым вариантом снижение удельных энергозатрат составит 55...78% (в зависимости от погодных условий).

### Библиографический список

1. Гербер Ю.Б. Определение критерия пастеризации для пластинчатой установки с использованием комплексного энергозамещающего устройства КЭУ // Вестник Сумского национального аграрного университета. Сумы, 2013. № 10. С. 110-112.

2. Гербер Ю.Б., Гаврилов А.В., Вербицкий А.П., Сироткина Э.М. Использование комплексного энергозамещающего устройства для переработки молока // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. Симферополь, 2016. № 7 (170). С. 52-59.

3. Гербер Ю.Б., Гаврилов А.В., Сироткина Э.М. Определение параметров перемешивающего устройства в емкости для сквашивания при комбинированном подводе тепла // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина» 2017. № 4 (80). С. 39-42.

4. Гербер Ю.Б., Гаврилов А.В., Киян Н.С. Использование комплексного энергозамещающего устройства в технологии производства функционального продукта «Ацидолакт» // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. Симферополь, 2016. № 6 (169). С. 60-66.

5. Гербер Ю.Б., Гаврилов А.В. Определение параметров секции предварительного подогрева пастеризатора с использованием КЭУ // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. Симферополь, 2016. № 5 (168). С. 56-61.

6. Schlessler J., Armstrong D., Cinar A., Ramanauskas P., Negiz A. Automated control and monitoring of thermal processing using high temperature, short time pasteurization // Journal of Dairy Science, 1997; 80(10): 2291-2296. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76178-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76178-2).

7. Гербер Ю.Б., Дубровин В.А., Мельничук М.Д., Гаврилов А.В. и др. Машины и оборудование для переработки сельскохозяйственной продукции. Симферополь: ДИАИПИ, 2014. 324 с.

### References

1. Gerber Yu.B. Opredele niye kriteriya pasterizatsii dlya plastinchatoy ustanovki s ispol'zovaniyem kompleksnogo energozameshchayushchego ustroystva KEU [Determination of the pasteurization criterion for a plate-like plant using a complex energy-substituting device of a power plant]. *Vestnik Sumskogo natsional'nogo agrarnogo universiteta*, 2013; 10: 110-112. (in Rus.).

2. Gerber Yu.B., Gavrilov A.V., Verbitskiy A.P., Sirotkina E.M. Ispol'zovaniye kompleksnogo energozameshchayushchego ustroystva dlya pererabotki moloka [Use of a complex energy-substituting device for milk processing]. *Izvestiya sel'skokhozyaystvennoy nauki Tavridy*, 2016; 7 (170): 52-59. (in Rus.).

3. Gerber Yu.B., Gavrilov A.V., Sirotkina E.M. Opredele niye parametrov peremeshivayushchego ustroystva v yemkosti dlya skvashivaniya pri kombinirovannom podvode tepla [Determination of the parameters of a mixing device used in a ripening tank with a combined heat supply]. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*, 2017; 4 (80): 39-42. (in Rus.).

4. Gerber Yu.B., Gavrilov A.V., Kiyani N.S. Ispol'zovaniye kompleksnogo energozameshchayushchego ustroystva v tekhnologii proizvodstva funktsional'nogo produkta "Atsidolakt" [Use of a complex energy-substituting device in the technology of producing the "Atsidolakt" functional product]. *Izvestiya sel'skokhozyaystvennoy nauki Tavridy*, 2016; 6 (169): 60-66. (in Rus.).

5. Gerber Yu.B., Gavrilov A.V. Opredele niye parametrov sektsii predvaritel'nogo podogreva pasterizatora s ispol'zovaniyem KEU [Determination of the parameters of a preheating section of a pasteurizer with the use of the complex energy-substituting device]. *Izvestiya sel'skokhozyaystvennoy nauki Tavridy*, 2016; 5 (168): 56-61. (in Rus.).

6. Schlessler J., Armstrong D., Cinar A., Ramanauskas P., Negiz A. Automated control and monitoring of thermal processing using high temperature, short time pasteurization. *Journal of Dairy Science*, 1997; 80(10): 2291-2296. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76178-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76178-2). (in English).

7. Gerber Yu.B., Dubrovin V.A., Mel' nichuk M.D., Gavrilov I.N. Mashiny i oborudovaniye dlya pererabotki seskokhozyaystvennoy produktsii [Machinery and equipment for farm produce processing]. Simferopol, DIAIPI, 2014: 324. (in Rus.).

8. Gerber Yu.B., Gavrilov A.V., Kiyani N.S. carried out the experimental work, and basing on the obtained results summarized the material and wrote the manuscript. Gerber Yu.B., Gavrilov A.V., Kiyani N.S. have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

### Contribution

Gerber Yu.B., Gavrilov A.V., Kiyani N.S. carried out the experimental work, and basing on the obtained results summarized the material and wrote the manuscript. Gerber Yu.B., Gavrilov A.V., Kiyani N.S. have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

### Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received on October 24, 2018

### Критерии авторства

Гербер Ю.Б., Гаврилов А.В., Киян Н.С. выполнили экспериментальную работу, на основании полученных результатов провели обобщение и написали рукопись. Гербер Ю.Б., Гаврилов А.В., Киян Н.С. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила 24.10.2018