

УДК 664.8.022.1

**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

**СИРОТКИНА ЭЛЬМИРА МИХАЙЛОВНА**, инженер-технолог

E-mail: topippzh@mail.ru

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

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕМЕШИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА В ЕМКОСТИ ДЛЯ СКВАШИВАНИЯ ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ ПОДВОДЕ ТЕПЛА

Представлен анализ процесса нагрева продукта в технологической емкости при производстве кисломолочных продуктов, приведены ограничительные факторы, определяющие условия реализации процесса. Предложен вариант использования комплексного энергозамещающего устройства на основе гелиоколлекторов в технологии производства кисломолочных продуктов. Приведена схема работы технологической емкости для сквашивания с комбинированным подводом тепла. Проведены аналитические исследования определения площади поверхности трубчатой змеевиковой мешалки в технологической емкости. Установлено, что основные факторы, влияющие на качество готового продукта на этапе заквашивания, – это вид и качественные показатели закваски, температура, продолжительность, режимно-конструктивные параметры перемешивающего устройства. Ограничительными факторами параметров процесса являются: максимальная и минимальная допустимые температуры заквашивания, максимальная частота вращения рабочего органа мешалки, равномерность температуры по всему объему заквашиваемого продукта. Успех проведения указанного технологического процесса заключается в синхронном обеспечении подогрева и перемешивания получаемого продукта. Для обеспечения подогрева заквашиваемого молока предлагается использовать в конструкции технологической емкости подачу теплоносителя параллельно двумя потоками: в рубашку нагрева (охлаждения), а также в перемешивающий рабочий орган в виде трубки-змеевика. Для подогрева теплоносителя предлагается использовать комплексную энергозамещающую установку, включающую в себя блок гелиоколлекторов, а также теплоэлектронагреватель. Получено уравнение зависимости площади поверхности трубчатой мешалки с одновременным нагревом сквашиваемого кисломолочного продукта от основных параметров термосмешивающей системы: объема емкости для сквашивания, площади поверхности внутренней стенки заквасочника, толщины стенок емкости и трубчатой мешалки, температурного режима различных зон термосмешивающей системы. Учитывая данное выражение, можно определить площадь поверхности перемешивающего устройства, принимая во внимание требования равномерного нагрева и распределения компонента смеси (закваски) во всем объеме резервуара.

**Ключевые слова:** гелиоколлектор, комплексное энергозамещающее устройство, мешалка, кисломолочный продукт, площадь поверхности, режимно-конструктивные параметры, энергия.

**Введение.** Одним из наиболее ответственных этапов производства кисломолочных продуктов, в частности кефира, является процесс заквашивания. Указанный процесс, с точки зрения технико-технологического обеспечения, исследовался учеными М.Ю. Меркуловым, В.Д. Косым, Ю.А. Мачихиным, Н.А. Роговым, Н.В. Барабанщиковым и др. Как было выяснено указанными исследователями, основные факторы, влияющие на качество готового продукта на этапе заквашивания, – это вид и качественные показатели закваски, температура, продолжительность, режим-

но-конструктивные параметры перемешивающего устройства [1].

**Цель исследования** – получить уравнение, отражающее зависимость площади поверхности трубчатой мешалки с одновременным нагревом сквашиваемого кисломолочного продукта от основных параметров термосмешивающей системы: объема емкости для сквашивания, площади поверхности внутренней стенки заквасочника, толщины стенок емкости и трубчатой мешалки, температурного режима различных зон термосмешивающей системы.

**Материал и методы.** Необходимо параллельно осуществлять несколько процессов, в частности подогрев и перемешивание заквашиваемого продукта в требуемом технологическим диапазоном значений [2].

Ограничительными факторами параметров процесса являются:

- максимальная и минимальная допустимые температуры заквашивания  $t_{min}$  и  $t_{max}$ , которые обусловлены технологическими требованиями к проведению процесса;

- максимальная частота вращения рабочего органа мешалки ограничена необходимостью сохранения структуры производимого продукта (превышение допустимого режима приводит к разрушению структуры готового продукта);

- равномерность температуры по всему объему заквашиваемого продукта.

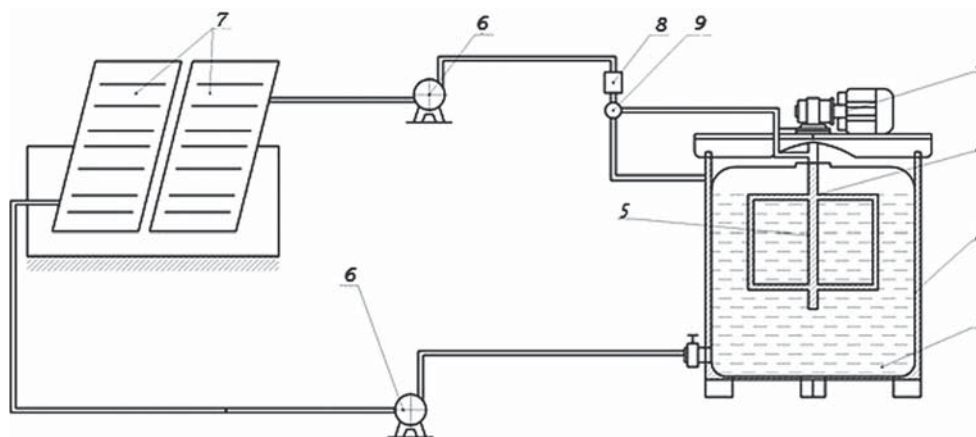
Успех проведения указанного технологического процесса заключается в синхронном обеспечении подогрева и перемешивания получаемого продукта. Для обеспечения подогрева заквашиваемого молока предлагается использовать в конструкции технологической емкости подачу теплоносителя параллельно двумя потоками: в рубашку нагрева (охлаждения), а также в перемешивающий рабочий орган в виде трубки-змеевика [3]. Для подогрева те-

плоносителя предлагается использовать комплексную энергозамещающую установку (КЭУ), включающую в себя блок гелиоколлекторов, а также теплоэлектронагреватель (рисунок). В солнечные дни подогрев теплоносителя осуществляется благодаря солнечной энергии, в условиях недостаточной солнечной активности подогрев проводится с помощью электрической энергии [4, 5]. Так как температурный диапазон заквашивания молочных продуктов лежит в пределах 30...40°C, тепловой энергии, полученной гелиоколлекторами, вполне достаточно для нагрева теплоносителя. Температура нагрева воды в гелиоколлекторе в весенне-летний период составляет 55...65°C [6].

**Результаты и обсуждение.** Определяем площадь поверхности трубчатой змеевиковой мешалки. Общее количество теплоты, которое необходимо передать продукту, находящемуся в заквасочнике, выражается формулой

$$Q_{общ} = M_3 \cdot c \cdot (t_{ск} - t_n), \quad (1)$$

где  $M_3$  – масса молока (заквашиваемой исходной смеси) в емкости;  $c$  – теплоемкость продукта;  $t_{ск}$  – температура сквашивания продукта;  $t_n$  – начальная температура продукта, подаваемого в заквасочник.



**Схема работы технологической емкости для сквашивания с комбинированным подводом тепла: 1 – емкость; 2 – рубашка нагрева (охлаждения); 3 – перемешивающее устройство; 4 – привод перемешивающего устройства; 5 – подача теплоносителя в перемешивающее устройство; 6 – насосы, обеспечивающие циркуляцию теплоносителя; 7 – гелиоколлекторы; 8 – резервный электронагреватель; 9 – разделитель потока теплоносителя**

Количество теплоты можно представить так:

$$Q_{общ} = Q_3 + Q_m, \quad (2)$$

где  $Q_3$  – количество теплоты, передаваемое через поверхность стенки заквасочника;  $Q_m$  – количество теплоты, передаваемое через трубчатый змеевик перемешивающего устройства.

Подвод тепла через стенку емкости путем теплопроводности выразим уравнением

$$Q_3 = \frac{\lambda_1}{\delta_1} \cdot F_3 \cdot (t_{cd}^1 - t_{cm}), \quad (3)$$

где  $\lambda_1$  – теплопроводность стенки емкости;  $\delta_1$  – толщина стенки емкости;  $F_3$  – общая площадь поверхности внутренней стенки емкости;  $t_{cd}^1$  – температура стенки емкости со стороны теплоносителя;  $t_{cm}$  – температура стенки емкости со стороны продукта.

Конвективный перенос теплоты от стенки к продукту

$$Q_{c1} = \alpha_1 \cdot F_{\zeta} \cdot (t_{c0}^1 - t_n), \quad (4)$$

где  $t_n$  – температура продукта.

Для установившегося режима  $Q_{z1} = Q_s$

Подвод тепла через стенку трубчатой мешалки

$$Q_M = \frac{\lambda_2}{\delta_2} \cdot F_M \cdot (t_{cm1}^1 - t_{cm1}), \quad (5)$$

где  $\lambda_2$  – теплопроводность стенки трубчатой мешалки;  $\delta_2$  – толщина стенки трубчатой мешалки;  $t_{cm1}^1$  – температура стенки трубчатой мешалки со стороны теплоносителя;  $t_{cm1}$  – температура стенки трубчатой мешалки со стороны продукта.

Конвективный перенос от стенки трубчатой мешалки к продукту:

$$Q_{i1} = \alpha_2 \cdot F_i \cdot (t_{c01}^1 - t_n), \quad (6)$$

Для установившегося режима  $Q_M = Q_{m1}$ .

Подставляя уравнения (4) и (6) в равенство (3), получим

$$Q_{общ} = \frac{\lambda_1}{\delta_1} \cdot F_3 \cdot (t_{cm}^1 - t_{cm}) + \frac{\lambda_2}{\delta_2} \cdot F_M \cdot (t_{cm1}^1 - t_{cm1}). \quad (7)$$

Учитывая формулу (2) для определения общего количества теплоты, получим

$$M_3 \cdot c \cdot (t_{ск} - t_n) = \frac{\lambda_1}{\delta_1} \cdot F_3 \cdot (t_{cm}^1 - t_{cm}) + \frac{\lambda_2}{\delta_2} \cdot F_M \cdot (t_{cm1}^1 - t_{cm1}). \quad (8)$$

Решая уравнение относительно площади поверхности трубчатой мешалки, получим

$$F_M = \frac{\left[ M_3 \cdot c \cdot (t_{ск} - t_n) - \frac{\lambda_1}{\delta_1} \cdot F_3 \cdot (t_{cm}^1 - t_{cm}) \right] \cdot \delta_2}{\lambda_2 (t_{cm1}^1 - t_{cm1})}. \quad (9)$$

Уравнение (9) отражает зависимость площади поверхности трубчатой мешалки с одновременным нагревом сквашиваемого кисломолочного продукта от основных параметров термосмешивающей системы: объема емкости для сквашивания, площади поверхности внутренней стенки заквасочника, толщины стенок емкости и трубчатой мешалки, температурного режима различных зон термосмешивающей системы.

### Выводы

1. Учитывая полученное выражение, можно определить площадь поверхности перемешивающего устройства, принимая во внимание тре-

бования равномерного нагрева и распределения компонента смеси (закваски) во всем объеме резервуара.

2. В случае использования трубчатой мешалки может быть получена формула для определения конструктивных параметров перемешивающего устройства: длины рабочих трубчатых элементов и их диаметра – с учетом следующих зависимостей:

$$\sum_1^n S_n = S_{T1} + S_{T2} + S_{T3} + \dots + S_{Tn}, \quad (10)$$

где  $n$  – количество трубчатых элементов перемешивающего устройства;  $\sum_1^n S_n$  – суммарная площадь поверхности трубчатых элементов.

Площадь поверхности отдельных трубчатых составляющих элементов перемешивающего устройства

$$S_{T1} = l_{T1} \cdot 2\pi \cdot r_j, \quad (11)$$

где  $l_{T1}$  – длина трубчатого элемента;  $r_j$  – радиус трубчатого элемента.

### Библиографический список

1. Бекман У., Клейм С., Деффи Д. Расчет систем солнечного теплоснабжения. М.: Энергоиздат, 1982. 76 с.
2. Гербер Ю.Б., Дубровин В.А., Мельничук М.Д., Гаврилов И.Н. и др. Машины и оборудование для переработки сельскохозяйственной продукции. Симферополь: ДИАЙПИ, 2014. 324 с.
3. Гербер Ю.Б. Перспективы использования возобновляемых источников энергии в отраслях АПК // Научные труды ЮФ «Крымский агротехнологический университет» НАУ (технические науки). Симферополь, 2008. Вып. 113. С. 3-6.
4. Гербер Ю.Б., Гаврилов А.В., Киян Н.С. Использование комплексного энергозамещающего устройства в технологии производства функционального продукта «Ацидолакт» // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского». Симферополь, 2016. Вып. № 6 (169). С. 60-66.
5. Гербер Ю.Б. Энергоемкость и энергосодержание технологии производства молока // Научные труды ЮФ НУБиП Украины «Крымский агротехнологический университет». Симферополь, 2012. Вып. 146. С. 12-17.
6. Schlessor J., Armstrong D., Cinar A., Ramanauskas P., Negiz A. Automated control and monitoring of thermal processing using high temperature, short time pasteurization // J. Dairy Sci. 1997. V. 80. N10. P. 291-296.

Статья поступила 15.06.2017

## DETERMINATION OF MIXING DEVICE PARAMETERS IN FERMENTATION TANK WITH COMBINED HEAT SUPPLY

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

E-mail: gerber\_1961@mail.ru

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

E-mail: tehfac@mail.ru

**ELMIRA M. SIROTKINA**, engineer-technologist

E-mail: topippzh@mail.ru

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

The research considered in the paper is based on the analysis of the process of product heating in a technological container during the production of fermented milk products. The paper also presents limiting factors that determine conditions for the process implementation. The authors suggest using a complex energy-substituting device based on solar collectors in the technology of making fermented milk products and present an operating scheme of a fermentation tank with combined heat supply. Analytical studies have been carried out to determine the surface area of a tubular coil mixer in the considered tank. It has been revealed that the main factors affecting the finished product quality at the fermentation stage is the kind and quality of yeast, temperature, duration, as well as mode-design parameters of the mixing device. The limiting factors of the process parameters include: maximum and minimum allowable fermentation temperature; maximum speed of the mixer's working part; the temperature uniformity throughout the whole volume of the fermented product. The success of the specified technological process consists in providing simultaneous heating and mixing of the resulting product. To ensure the fermented milk heating, the authors recommend providing two parallel streams of coolant supply in the technological tank design: one into the cooling (heating) jacket, and the other into the mixing working body in the form of a tubular coil. To heat the coolant, the authors suggest using a complex energy-substituting unit including a block of solar collectors, as well as a thermal-and-electric heater. They have obtained an equation of the interrelationship between the surface area of a tubular mixing device with simultaneous heating of fermented sour milk products and the main parameters of the thermal mixing system: the fermentation tank capacity, the surface area of the tank's inner wall, thickness of tank and tubular mixing device walls, and a temperature mode in various zones of the thermal mixing system. Applying the obtained formula, one can determine the surface area of a mixing device with account of the requirements for uniform heating and distribution of the mixture (ferment) components throughout the entire tank volume.

**Key words:** solar collector, complex energy-substituting device, mixing device, fermented milk product, surface area, mode-design parameters, energy.

### References

1. Beckman U., Kleim S., Deffi D. Rashchet systems of sun teplosnabzheniya [Calculation of solar heat supply systems]. Moscow, Energoizdat, 1982, 76 p. (In Rus.)
2. Gerber Yu.B., Dubrovin V.A., Mel'nichuk M.D., Gavrilov I.N. Mashiny i oborudovaniye dlya pererabotki sel'skokhozyaystvennoy produktsii [Machinery and equipment for farm produce processing]. Simferopol, DIAPI, 2014, 324 p. (In Rus.)
3. Gerber Yu.B. Perspektivy ispol'zovaniya vozobnovlyayemykh istochnikov energii v otraslyakh APK [Prospects for the use of renewable energy sources in agribusiness sectors]. *Nauchnyye trudy YUF "Krymskiy agrotekhnologicheskiy universitet" NAU (tekhnicheskkiye nauki)*. Simferopol', 2008, Issue 113. Pp. 3-6. (In Rus.)
4. Gerber Yu.B., Gavrilov A.V., Kiyani N.S. Ispol'zovaniye kompleksnogo energozameshchayushchego ustroystva v tekhnologii proizvodstva funktsion-
- al'nogo produkta "Atsidolakt" [Use of a complex energy-substituting device in the technology of producing the "Atsidolakt" functional product]. *Izvestiya sel'skokhozyaystvennoy nauki Tavriy FGAOU VO "Krymskiy federal'nyy universitet imeni V.I. Vernadskogo"*. Simferopol', 2016, Issue No. 6 (169). Pp. 60-66. (In Rus.)
5. Gerber Yu.B. Energoyemkost' i energosoderzhaniye tekhnologii proizvodstva moloka [Energy intensity and energy content of milk production technology]. *Nauchnyye trudy YUF NUBiP Ukrainy "Krymskiy agrotekhnologicheskiy universitet"*. Simferopol', 2012, Issue 146. Pp. 12-17.
6. Schlessler J., Armstrong D., Cinar A., Ramanauskas P., Negiz A. Automated control and monitoring of thermal processing using high temperature, short time pasteurization. *J. Dairy Sci.* 1997. Vol. 80. No. 10. Pp. 291-96.

Received on June 15, 2017