УДК 621.56

Математическое моделирование процесса охлаждения хладоносителя системой замороженных шаров

Д-р техн. наук **Е. В. СЕМЕНОВ**
sem-post@mail.ru
Московский Государственный Университет Технологий и управления им. К. Г.Разумовского (Первый Казачий Университет)
109004, г. Москва, ул. Земляной вал, 73
Д-р техн. наук **Б. С. БАБАКИН**
Московский Государственный Машиностроительный Университет (МАМИ)
канд. техн. наук **М. И. ВОРОНИН**
Московский Государственный Университет Пищевых Производств
Канд. техн. наук **А. Г. БЕЛОЗЁРОВ**, *канд. техн. наук* **С. Б. БАБАКИН**
Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности (ВНИХИ)

Проблемы интенсификации производственных процессов и рационального использования сырья связаны с холодильной обработкой продуктов с целью сохранения их высоких биохимических показателей и снижения микробиологической порчи. Научное обоснование выбора способа и технических средств проведения процесса холодильной обработки определяет конечное товарное качество продуктов и эффективность работы предприятия в целом. Процесс охлаждения жидких сред относится к наименее изученной стадии обработки продукта холодом, а используемые для этой цели технические средства часто не отвечают современным требованием. В настоящее время перспективным направлением совершенствования техники и технологии охлаждения жидких сред является использование для охлаждения последних емкостей различной геометрии заполненных хладоносителем. Полученные результаты позволят оптимизировать процесс охлаждения жидких сред, снизить затраты на энергию и оборудование. Проблема охлаждения жидкостной среды путем интродуцирования в данную среду коллектива замороженных шаров формулируется в рамках краевой задачи для уравнения теплопроводности. Решение данной задачи, полученное по методу осреднения, в области реальных значений параметров процесса по объекту исследования используется в качестве основы для численного эксперимента по моделированию протекания процесса охлаждения водной среды.

Ключевые слова: жидкостная система, охлаждение, теплопередача, шар, краевая задача, эффективность процесса.

Информация о статье
Поступила в редакцию 13.05.2016, принята к печати 24.10.2016
doi: 10.21047/1606-4313-2016-15-4-74-79
Ссылка для цитирования
Семенов Е. В., Бабакин Б. С., Воронин М. И., Белозёров А. Г., Бабакин С. Б. Математическое моделирование процесса охлаждения хладоносителя системой замороженных шаров // Вестник Международной академии холода. 2016. № 4. С. 74–79.

Mathematical modeling of thermostating liquid cooling process by the system of frozen ballons

D. Sc. **E. V. SEMENOV**
Moscow State University of Technologies and Management Named after K. G. Razumovskiy, Russia, Moscow
D. Sc. **B. S. BABAKIN**
Moscow State University of Mechanical Engineering, Russia, Moscow
Ph. D. **M.I. VORONIN**
Moscow National University of Food Production, Russia, Moscow
Ph. D. **A.G. BELOZEROV,** *Ph.D* **S. B. BABAKIN**
All-Russian Research Institute of the refrigerating industry, Russia, Moscow

Problems of intensification of production processes and the efficient use of raw materials related to the cold treatment products in order to preserve their high biochemical parameters and reducing microbiological spoilage. The scientific rationale for the choice of the method and technical means of the cold treatment process determines the final quality of commodity products and the efficiency of the enterprise as a whole. The process of cooling liquid media refers to the least explored stage of cold treatment of the product, and used for this purpose technical devices often do not meet modern requirements. Currently, promising direction of improving technology and cooling technology is the use of liquid media for

cooling the latter containers filled with different geometry coolant. The results will allow to optimize the process of cooling liquid environments, reduce energy and equipment costs. The problem of cooling the liquid medium by introducing into the medium band of frozen balls is formulated within the framework of a boundary value problem for the heat equation. The solution to this problem, obtained by the averaging method in the field of real values on the object of study of process parameters used as the basis for the numerical modeling of the process medium flow cooling the aqueous medium.

Keywords: liquid, cooling, heat transfer, ball, boundary value problem, the process efficiency.

Одной из важных проблем интенсификации производственных процессов и рационального использования сырья, в частности, в молочной промышленности является охлаждение молока и молочных продуктов, что способствует сохранению его биологических свойств, предотвращает размножение микрофлоры в продукте. От того, насколько обоснован способ и технические средства проведения процесса охлаждения зависит товарное качество продукции и эффективность работы предприятия в целом. Вместе с тем до сих пор процесс охлаждения сырого молока относится к наименее изученной стадии обработки продукта холодом, а используемые для этой цели технические средства не в полной мере отвечают современным требованиям.

В настоящее время к одному из перспективных направлений совершенствования техники и технологии переработки молочной продукции относится ее охлаждение хладоносителем с интродуцированной в него системой замороженных до низких температур, наполненных жидкостью (хладоносителем) шаров. Данный технологический способ, в принципе, используют в смежных отраслях промышленности, в частности, в металлургии [1].

Результаты проведенных исследований выявили преимущества способа охлаждения водной среды с помощью замороженных шаров перед другими: отмечена высокая интенсивность процесса, снижение энергозатрат. Применительно к технологии молочного производства использование предложенного способа позволит в целом повысить количественные и качественные показатели эффективности процесса обработки продукта. В то же время имеется острая потребность в дальнейших углубленных исследованиях по этой важной научно-технической проблеме.

Постановка задачи

Пусть в некотором рабочем объеме имеют жидкостную систему, включающую жидкую и твердую фазы: жидкостную среду и коллектив замороженных шаров с хладоносителем. Предполагая, что группа шаров статистически равномерно распределена в жидкостной системе, в качестве модели процесса теплопередачи от жидкостной среды к шарам выбирают изолированный шар радиусом R. К данному шару из прилегающей к нему области $R \le r \le l$ подается теплота из жидкостной среды (рис. 1, 2), где r — радиальная координата, $2l$ — среднее расстояние между центрами шаров (рис. 2).

При этом, если $V_ш$ и V — суммарный объем шаров и жидкости в рабочем объеме, соответственно, а c — объемная концентрация шаров в жидкостной системе, то, согласно принятой геометрической модели жидкостной системы «жидкостная среда + система шаров», половина расстояния l между двумя соседними шарами составит (рис. 3)

$$l = R\sqrt[3]{c} \qquad 0 < c < 1. \tag{1}$$

Полагают, что подвод теплоты к шару радиусом R реализуется симметричным образом, и, кроме того, для выбранной расчетной модели, с удовлетворительной точностью выполнены все, обычно принимаемые при анализе процесса теплопереноса в сплошном теле, допуще-

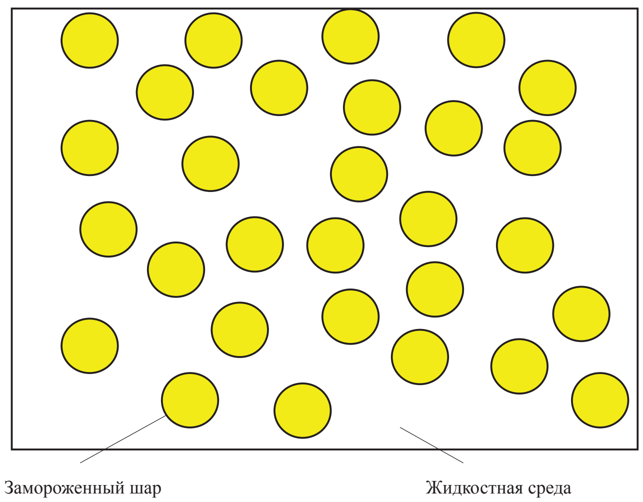

Рис. 1. Схема расположения шаров в водяной рубашке

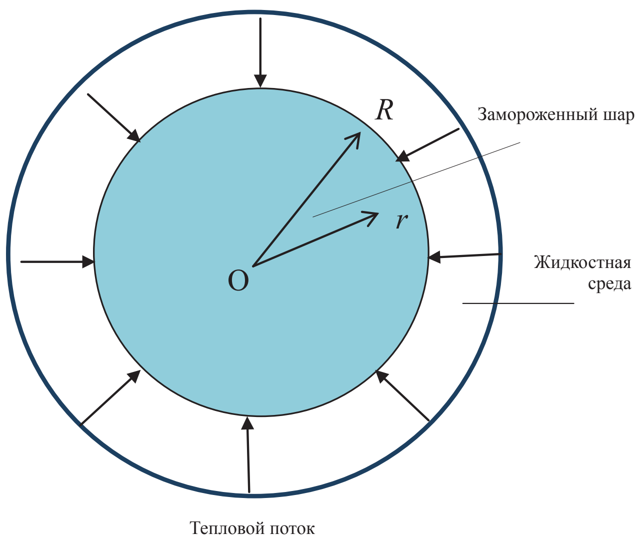

Рис. 2. Схема к расчету процесса размораживания шара

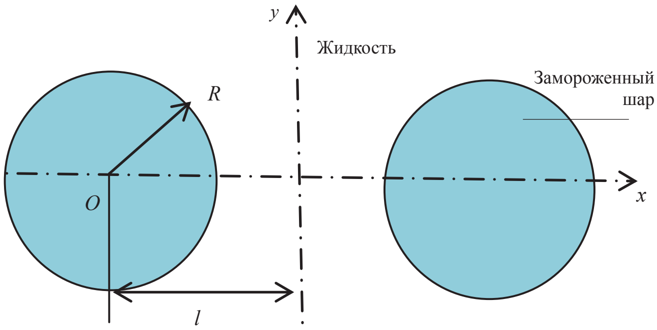

Рис. 3. Схема к расчету процесса теплопередачи в жидкостной системе

ния по физико-механическим свойствам изучаемого объекта [2–9].

Решение задачи

В качестве потока q теплоты в направлении оси r в принятой одномерной модели теплопереноса в сферической системе отсчета принимают

$$q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial r}, \tag{2}$$

где T — температура; λ — коэффициент теплопроводности.

Тогда в качестве исходного соотношения, описывающего кинетику распределения температуры в жидкостной среде, выбирают, как обычно, отнесенное к сферическим координатам, с началом координат в центре шара, уравнение нестационарной теплопроводности [7] (рис. 1).

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{2}{r}\frac{\partial T}{\partial r}), \tag{3}$$

где T — температура; τ — время; r — радиальная координата; a — коэффициент температуропроводности,

$$a = \lambda / c\gamma, \tag{4}$$

здесь c — удельная теплоемкость; γ — плотность шара.

За начальное условие, выбираемое как равномерное по объему жидкостной среды (воды), принимают

$$T(r, 0) = T_с = \text{const} \qquad (R < r < l). \tag{5}$$

Граничное условие на поверхности шара

$$T(R, \tau) = T_к \qquad (0 < \tau < \infty), \tag{6}$$

где $T_к$ — криоскопическая температура воды (температура плавления льда).

Граничное условие симметричности поля температуры между соседними шарами [7]

$$\frac{\partial T(l,\tau)}{\partial r} = 0 \qquad (0 < \tau < \infty), \tag{7}$$

где l связана с R зависимостью (1).

Хотя решение задачи (3)–(7) известно, оно малопригодно для практических расчетов, так как имеет вид ряда. Поэтому, в некоторых случаях, применяют приближенный метод решения данной задачи, аналогичный методу осреднения [8].

С этой целью предварительно вводят замену переменной

$$T = u + T_к, \tag{8}$$

в результате чего граничные условия (5), (6) становятся однородными по переменной u — приведенной температуре

$$u(R, \tau) = 0, \tag{9}$$

$$\frac{\partial u(l,\tau)}{\partial r} = 0, \ 0 < \tau < \infty. \tag{10}$$

Начальное условие принимает форму

$$u(r, 0) = \Delta T \qquad (R < r < l), \tag{11}$$

где $\Delta T = T_с - T_к > 0$ — перепад температур по объему жидкостной среды в начальный период времени.

При этом уравнение (3) по переменной u вследствие (8) сохраняет свой вид

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = a(\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{2}{r}\frac{\partial u}{\partial r}). \tag{12}$$

В целях упрощения решения задачи, начальное условие (11) заменяют на усредненное по прилегающей к шару области $r \in (R, l)$ значение

$$\frac{1}{l-R}\int_R^l u(r,0)dr = \Delta T \ . \tag{13}$$

В свою очередь, усредняя левую часть уравнения (12) по интервалу $R < r < l$, имеют

$$\frac{1}{l-R}\int_R^l \frac{\partial u}{\partial \tau} dr = a\varphi(\tau), \tag{14}$$

где $\varphi(\tau)$ — функция, подлежащая определению.

В результате уравнение (12) заменяют приближенным

$$(\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{2}{r}\frac{\partial u}{\partial r}) = \varphi(\tau). \tag{15}$$

Так как правая часть уравнения (15) зависит лишь от τ, то, интегрируя его дважды по r, находят

$$u(r, \tau) = D_1 + D_2 / r + r^2\varphi(\tau) / 6, \tag{16}$$

где D_1, D_2 — произвольные величины, зависящие от τ.

Согласуя (16) с граничными условиями (9), (10), получают

$$D_1 = \psi(r) = -\frac{R^3 + 2l^3}{6R}\varphi(\tau), \ D_2 = \frac{l^3}{3}\varphi(\tau)$$

и поэтому вместо (16) имеют

$$u(r, \tau) = \psi(r)\,\varphi(\tau), \tag{17}$$

$$\text{где } \psi(r) = -\frac{R^3 + 2l^3}{6R} + \frac{l^3}{3r} + \frac{r^2}{6}. \tag{18}$$

Подставляя выражение (17) в уравнение (14), приходят к дифференциальному уравнению относительно искомой функции φ

$$\frac{1}{l-R}\int_R^l \psi(r)\frac{d\varphi}{d\tau}dr = a\varphi(\tau),$$

$$\text{или } B\frac{d\varphi}{d\tau} = a\varphi, \tag{19}$$

$$\text{где } B = \frac{1}{l-R}\int_R^l \psi(r)dr. \tag{20}$$

Интегрируя (19), получают

$$\varphi(\tau) = D_3\exp(a\tau / B), \tag{21}$$

где D_3 — произвольная постоянная.

Поэтому, в соответствии с выражениями (17), (21) имеют

$$u(r,\tau) = D_3\psi(r)\exp(\frac{a\tau}{B}). \tag{22}$$

С целью определить значение D_3, подставляют выражение (22) в (13)

$$\frac{1}{l-R}\int_R^l D_3\psi(r)dr = \Delta T$$

$$\text{или } D_3B = \Delta T, \tag{23}$$

где B определяют по уравнению (20).

В результате чего, вследствие (22), (23) окончательно имеют

$$u(r,\tau)\ \ \frac{\Delta T}{B}\psi(r)\exp(\frac{a\tau}{B}). \tag{24}$$

Как видно, что найденное по (24) выражение приведенной температуры $u(r, \tau)$ имеет простую и удобную для количественного и качественного анализа мультипликативную форму. А именно, приведенная температура пропорциональна перепаду температуры ΔT, и, поскольку, согласно расчету, $B < 0$, температура жидкостной среды убывает по экспоненте с течением времени τ, и, тем быстрее, чем больше коэффициент коэффициент температуропроводности a.

Помимо этого, учитывая, что

$$\psi'(r) = \frac{r^3 - l^3}{3r^2} < 0, \tag{25}$$

согласно (8) и (25) производная (22) по переменной r — положительна

$$\frac{\partial T}{\partial r} = \frac{\partial u}{\partial r} = \frac{\Delta T}{3B}\frac{r^3 - l^3}{r^2}\cdot\exp(\frac{a\tau}{B}) > 0 \quad (B<0, r<l), \tag{26}$$

то отсюда следует заключение, что температура жидкостной среды возрастает в интервале $R<r<l$ и, следовательно, убывает по направлению к шару.

Отмеченные особенности процесса теплопередачи находятся в согласии с физической стороной описываемого явления.

Поток тепла от жидкостной среды к поверхности шара согласно (2), (26) вычисляют по зависимости

$$q(\tau) = \lambda\frac{\partial u(R,\tau)}{\partial r} = \frac{\lambda\Delta T}{3B}\frac{R^3 - l^3}{R^2}\exp(\frac{a\tau}{B}),\ \text{Вт/м}^2. \tag{27}$$

Количество тепла Q, подводимого к единице поверхности шара за время τ расчитывают, интегрируя (27) по данному временному интервалу

$$Q_{уд} = \int_0^\tau q(t)dt = \frac{\lambda(l^3 - R^3)}{3aR^2}[1 - \exp(\frac{a\tau}{B})],\ \text{Дж / м}^2. \tag{28}$$

Следовательно, количество тепла, передаваемого шару от жидкостной среды, за счет теплопроводности в течение периода времени t составляет

$$Q_S = Q_{уд}S, \tag{29}$$

где S — площадь поверхности шара, $Q_{уд}$ вычисляют согласно (28).

И поэтому, вследствие (28), (29) имеют

$$Q_S = \frac{4\pi\lambda(l^3 - R^3)\Delta T}{3a}\cdot[1 - \exp(\frac{a\tau}{B})]. \tag{30}$$

Если T_0 и $T_к$ — соответственно, температура замороженного шара и криоскопическая температура, то количество $Q_ш$ теплоты в шаре составляет

$$Q_ш = m_1\,[c_ш\,(T_к - T_0) + Q_{фуд}],\ \text{Дж}$$

или

$$Q_ш = 4 / 3\pi R^3\gamma\,[c_ш\,(T_к - T_0) + Q_{фуд}],\ \text{Дж}, \tag{31}$$

где m_1 — масса хладагента в шаре; γ — плотность хладагента; $c_ш$ — удельная теплоемкость; $Q_{фуд}$ — удельная теплота плавления льда.

Пусть η — удельная теплота шара, расходуемая на охлаждение жидкостной среды такая, что

$$\eta = Q_ш / Q_S \quad (0 < \eta < 1), \tag{32}$$

где Q_S рассчитывается по уравнению (30), $Q_ш$ — по (31).

Поэтому, если необходимо рассчитать период времени охлаждения жидкостной среды, когда шар, отдает η величины своего холода, то тогда разрешают относительно τ уравнение (32) или

$$Q_ш - Q_S\,\eta = 0. \tag{33}$$

Численный эксперимент

Рассматривается пример расчета процесса охлаждения жидкостной среды за счет размораживания коллектива шаров.

Пусть исходная жидкостная среда характеризуется параметрами: начальная температура $T_с = 290$ К; криоскопическая температура $T_к = 273$ К; плотность $\gamma_м = 1000$ кг/м^3; коэффициент теплопроводности $\lambda_в = 0{,}56$ Вт/(м·К); удельная теплоемкость $c_в = 4{,}2\cdot10^5$ Дж/(кг·К) [10].

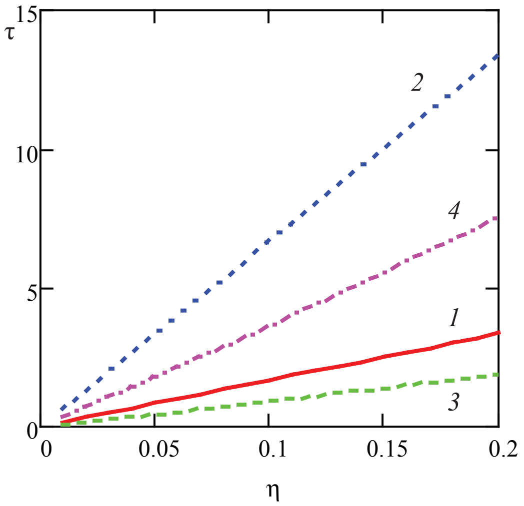

Рис. 4. Зависимости периода обработки (t) от коэффициента удельной теплоты шара (h) для различных значений радиуса шаров (R) и коэффициента объемной концентрации шаров (c) в жидкостной системе: c = 0,01: 1 — R = 1 см; 2 — R = 2 см; c = 0,1: 3 — R = 1 см, 4 — R = 2 см

В качестве исходных геометрических и физико-механических параметров процесса для жидкостного хладагента (льда) в шаре выбирали (по порядку величин): радиус шара R = 0,05 м; плотность льда γ = 900 кг/м^3; температура замороженного шара T_0 = 261 К; удельная теплоемкости $c_л$ = 2100 Дж/(кг·К); удельная теплота плавления $Q_{фуд}$ = 3,35·10^5 Дж/кг.

На базе (33) для принятых значений параметров процесса и радиуса шаров R = 1 см, R = 2 см, а также значений коэффициента объемной концентрации шаров в жидкостной системе c = 0,01; c = 0,1, в виде графиков кривых рис. 4 показаны зависимости периода τ обработки от коэффициента η — удельной теплоты шара, расходуемой на охлаждение воды.

Из вида графиков, показанных на рис. 4 выявляется согласие полученных результатов количественного моделирования исследуемого процесса с физическим смыслом задачи. А именно, возрастание периода обработки жидкостной среды когда, с одной стороны, увеличивается коэффициент η, т. е. отдача тепла шарами растет, а также, с другой стороны, когда увеличивается размер шара вследствие уменьшения его удельной поверхности.

Кроме того, естественно, период обработки жидкостной среды сокращается при увеличении объемной концентрации шаров (кривые 1,3 и 2,4 рис. 4).

Выводы

Таким образом:

— для обоснования базирующейся на явлении теплопередачи от жидкостной среды к коллективу замороженных шаров инновационной технологии охлаждения жидкостной среды предлагается аналитический аппарат по прогнозированию процесса теплопереноса в шаре;

— с целью количественного моделирования проблемы переноса теплоты в шаре, как сплошном теле заданным размером и физико-механическими параметрами процесса, используется закон сохранения энергии в форме уравнения теплопроводности, решение которого отыскивается приближенным способом;

— исходя из осесимметричной модели процесса переноса теплоты в прилегающей к шару жидкостной среде, на базе найденного решения получены удобные для инженерных расчетов и прогнозирования протекания процесса аналитические зависимости для определения распределения температуры по радиусу и по времени;

— на основе найденных, учитывающих все основные параметры задачи, явных зависимостей по распределению температуры в жидкостной среде в области реальных значений параметров процесса, проведено численное моделирование процесса охлаждения данной среды;

— полученные расчетные данные по моделированию процесса охлаждения воды адекватны физическому смыслу исследуемой проблемы.

Литература

1. *Виноградов В. В., Шакуров А. Г., Тяжельникова И. Л., Виноградова Е. П., Есенбеков В. С.* Математическое моделирование охлаждения шлакового расплава системой металлических шаров // Журнал технической физики. 2015. Том 8. Вып. 12. С. 21–25.
2. *Семенов Е. В., Бабакин Б. С., Воронин М. И., Ласаро М.* Моделирование процесса генерации льда и инея на поверхности воздухоохладителя // Вестник Международной академии холода. 2009. № 4. С. 5–9.
3. *Семенов Е. В., Бабакин Б. С., Воронин М. И., Морехон Л.* Моделирование процесса инееобразования на поверхности прибора охлаждения // Вестник Международной академии холода. 2010. № 1. С. 36–39.
4. *Белозеров Г. А., Бабакин Б. С., Макаров Б. А.* Математическое моделирование продолжительности процесса замораживания и плавления эвтектического раствора в аккумуляторах холода // Известия Калининградского государственного технического университета. 2011. № 23. С. 141–147.
5. *Бредихин А. С., Семенов Е. В. и др.* К вопросу о моделировании процесса размораживания мяса в вакууме. Ч. I // Хранение и переработка сельхозсырья. 2011. № 4. С. 25–29.
6. *Бредихин А. С., Семенов Е. В. и др.* К вопросу о моделировании процесса размораживания мяса в вакууме. Ч. II // Хранение и переработка сельхозсырья. 2011. № 5. С. 14–16.
7. *Лыков А. В.* Теория теплопроводности. — М.: Высшая школа, 1967. 600 с.
8. *Битюков В. К., Тихомиров С. Г., Саввин С. С., Арапов Д. В.* Математическая модель охлаждения оборотной воды в градирне с механической тягой. // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2014. № 1. С. 51–55. DOI:10.20914 / 2310–1202–2014–1–51–55
9. *Лыков А. В.* Тепломассобмен. — М.: Энергия, 1978. 480 с.
10. *Напалков Г. Н.* Тепло-массоперенос в условиях инееобразования. — М.: Машиностроение, 1983. 190 с.

References

1. Vinogradov V. V., Shakurov A. G., Tyazhel'nikova I. L., Vinogradova E. P., Esenbekov V. S. Mathematical modeling of cooling of slag fusion with system of metal spheres. *Zhurnal tekhnicheskoi fiziki*. 2015. Vol. 8. No. 12. p. 21–25. (in Russian)

2. Semenov E. V., Babakin B. S., Voronin M. I., Lasaro M. Modeling of process of generation of ice and hoarfrost on an air cooler surface. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2009. No 4. p. 5–9. (in Russian)
3. Semenov E. V., Babakin B. S., Voronin M. I., Morekhon L. Modeling of process of an ineeobrazovaniye on the surface of the device of cooling. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2010. No 1. p. 36–39. (in Russian)
4. Belozerov G. A., Babakin B. S., Makarov B. A. Mathematical modeling of duration of process of freezing and melting of the eutectic solution in cold accumulators. *Izvestiya Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2011. No 23. p. 141–147. (in Russian)
5. Bredikhin A. S., Semenov E. V. i dr. To a question of modeling of process of defrosting of meat in vacuum. P. I. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyr'ya*. 2011. No 4. p. 25–29. (in Russian)
6. Bredikhin A. S., Semenov E. V. i dr. To a question of modeling of process of defrosting of meat in vacuum. P. II. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyr'ya*. 2011. No 5. p. 14–16. (in Russian)
7. Lykov A. V. Theory of heat conductivity. Moscow, Vysshaya shkola, 1967. 600 p. (in Russian)
8. Bitiukov V. K., Tikhomirov S. G., Savvin S. S., Arapov D. V. The mathematical model of cooling recycled water in a cooling tower with mechanical traction. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2014; (1):51–55. (in Russian)
9. Lykov A. V. Heatmass exchange. Moscow. Energiya, 1978. 480 p. (in Russian)
10. Napalkov G. N. Warm mass transfer in the conditions of an ineeobrazovaniye. Moscow. Mashinostroenie, 1983. 190 p. (in Russian)

Поздравляем с юбилеем Георгия Автономовича Белозерова

29 октября 1946 г. исполнилось 70 лет Георгию Автономовичу Белозерову, доктору технических наук, главному научному сотруднику Всероссийского научно-исследовательского института холодильной промышленности (ВНИХИ), вице-президенту и действительному члену Международной академии холода.

После окончания Московского института химического машиностроения Белозеров Г. А. трудится на ряде крупных предприятий страны, таких как НПО «Криогенмаш», ВНИИторгмаш, НПО «Агрохолодпром». С 1988 г. по 2006 г. Георгий Автономович работает заместителем директора по научной работе ВНИИ холодильной промышленности (ВНИХИ), а затем занимает должность директора ВНИХИ, которым он успешно руководил до июня 2016 г.

Научные труды Белозерова Г. А. широко известны в России и за ее пределами, среди них девять монографий, свыше 50 авторских свидетельств, сотни публикаций по ресурсо- и энергосберегающим технологиям холодильной обработки и хранения пищевых продуктов, по созданию и внедрению в индустрию холода холодильно-технологического оборудования, отвечающего современному научно-техническому уровню.

Белозеров Г. А. — член редколлегий ведущих научно-технических журналов: «Холодильная техника», «Мир мороженого и быстрозамороженных продуктов», «Вестник Международной академии холода», «Все о мясе», «Холодильный бизнес». Является вице-президентом Союза мороженщиков России, членом подкомитета Торгово-промышленной палаты, членом комиссии Д2 Международного института холода (Париж), имеет государственные награды, медали ВДНХ, почетные грамоты Минобрнауки Российской Федерации, Россельхозакадемии, правительства г. Москвы.

Коллеги по холодильному сообществу знают Георгия Автономовича как душевного, доброжелательного человека, обладающего выдающимся организаторским талантом, неиссякаемой энергией, творческой работоспособностью.

Президиум Международной академии холода, редколлегия журнала «Вестник МАХ» сердечно поздравляют Вас, Георгий Автономович, с юбилеем!
Искренне желаем Вам крепкого здоровья, энергии, творческого задора, профессиональных достижений, благополучия в семье!