ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ / FOOD TECHNOLOGY
Оригинальная статья / Original article
УДК 66.061
DOI: 10.21285/2227-2925-2017-7-3-161-168

К РАСЧЕТУ ПРОЦЕССА МАССОПЕРЕНОСА В СИСТЕМЕ «РАСТВОР+ПРОДУКТ»

© Е.В. Семенов, А.А. Славянский, С.А. Макарова

Московский Государственный университет технологий и управления
им. К.Г. Разумовского (ПКУ).
Российская Федерация, 109004, г. Москва, Земляной Вал, 73.

Процессы обогащения продуктов растительного происхождения в жидкостях с растворенными в них целевыми субстанциями типа сахарозы, соли и др. широко распространены в перерабатывающих производствах АПК. При этом обрабатываемые в растворах продукты, как компоненты твердой фазы жидкостных систем, варьируются по форме и размеру, концентрации в растворе и др. Однако при количественном анализе процессов обработки продуктов данные факторы учитываются недостаточно. В статье рассматривается пример расчета процесса кристаллизации сахарозы в вакуум- аппарате. С целью обоснования физико-математической модели задачи, в качестве геометрической модели объекта исследования – кристалла сахарозы – используется шар. При анализе задачи на основе приближенного метода, была получена удобная для численного анализа зависимость концентрации сахарозы от радиуса и времени обработки продукта. В качестве средства количественного анализа проблемы использовался численный эксперимент. Данный эксперимент выявил адекватность результатов физико-математической моделирования параметрам реального процесса кристаллизации. Получена важная в теоретическом и практическом отношении оценка времени обогащения продукта целевой субстанцией по относительному к предельному значению периода времени обработки продукта.
Ключевые слова: раствор сахарозы, процесс массопереноса, диффузия, продукт, период.

Формат цитирования: Семенов Е.В., Славянский А.А., Макарова С.А. К расчету процесса массопереноса в системе «раствор+продукт» // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. Т. 7, N 3. С. 161–168. DOI: 10.21285/2227-2925-2017-7-3-161-168

FOR THE CALCULATION PROCESS OF MASS TRANSFER IN THE «SOLUTION + PRODUCT»

© E V. Semenov, A A. Slavyanskiy, S A. Makarova

Moscow State University of technology and management
named K.G. Razumovsky (FKU),
73, Zemlyanoш Val, Moscow, 109004, Russian Federation

Processes of enrichment of products of plant origin in liquids with dissolved they target substances type sucrose, salt, etc. widespread in the processing industries. When this processed in solutions products as components of the solid phase systems vary in shape and size, concentration in solution, etc.However, quantitative analysis of processing products, these factors are taken into account is not enough. This article describes an example of calculation of the sucrose crystallization in vacuum apparatus. To validate physical-mathematical model of tasks as a geometric object model research-sucrose crystal-ball. Analyzing task based on approximate method was received convenient for numerical analysis of sucrose concentration dependence of the radius and the processing time of the product. As a means of quantitative analysis of numerical experiment was used.This experiment revealed the adequacy of the results of the physical-mathematical modelling of parameters of a real process of crystallization. Received an important theoretical

and practical evaluation of time product enrichment of the target substance by relative to limit processing time period of the product.
Keywords: solution of sucrose, the process of mass transfer, diffusion, product, period

For citation: Semenov E V., Slavyanskiy A A., Makarova S A. For the calculation process of mass transfer in the «solution + product». *Izvestia Vuzov. Prikladnaya Khimia i Biotekhnologiya* [Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology]. 2017, vol. 7, no. 3, pp. 161–168 (in Russian). DOI: 10/21285/2227-2925-2017-7-3-161–168

ВВЕДЕНИЕ

Процессы осахаривания, посола и др. продуктов растительного происхождения целевой субстанцией (ЦС) находят широкое применение в технологиях перерабатывающих производств АПК. По своей природе данные виды обработки продуктов обусловлены явлением молекулярного переноса массы ЦС (жидкостного агента: сахарозы, соли) в водном насыщенном растворе агента. При этом движущая сила процесса обусловлена градиентом потока концентрации агента в растворе по направлению к обрабатываемому продукту (дисперсной фазы жидкостной системы «раствор+продукт»), где концентрация раствора понижена. Что дает основание, исходя из используемых, в том числе, и при исследовании процессов кристаллизации законов Фика, формализовать аналитически и количественно данный процесс.

Одним из важных показателей явления кристаллизации вещества в растворе – процессов осахаривания, посола и др. продуктов в рабочем объеме емкости является период их обработки, зависящий от температуры раствора, концентрации ЦС и твердой фазы (продукта) в нем, его геометрии. Данные факторы в решающей степени обуславливают режимные параметры процессов обработки продукта.

Следует отметить, что проблема количественного анализа процесса кристаллизации сахарозы, в частности, в рабочем объеме вакуум-аппарата, включая сроки обогащени межкристального раствора пересыщенным сиропом, периода времени обработки утфеля в целом в данном аппарате, исследовалась в работах [1–11]. Однако вследствие своей важности для решения задачи получения товарного сахара и других продуктов растительного происхождения высоких кондиций эта проблема, по нашему мнению, нуждается в дальнейшем углубленном изучении.

Ниже, на примере обработки продукта осахариванием, с целью обоснования режимных параметров протекания процесса массопереноса в растворе ЦС к продукту, предлагается более обоснованный, по сравнению с известными до сих пор аналогами, количественный анализ данного процесса.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Пусть в некотором рабочем объеме емкости имеют гетерогенную жидкостную систему, включающую жидкую среду (раствор) и коллектив моделируемых как шары радиусом R продукта (твердое). Предполагая, что шары статистически равномерно распределены в жидкости, в качестве исходной модели процесса массопереноса от жидкой среды к шарам выбирают изолированный шар, к которому из прилегающей к нему области шарового слоя ($R < r \le \Omega$), где r – радиальная координата, Ω – среднее расстояние между центрами шаров подаются молекулы агента (сахарозы, соли) (рис. 1).

При этом, если $V_ш$ и V – общий объем шаров и жидкости в емкости соответственно; η – объемная концентрация шаров в том же объеме, то в соответствии с принятой геометрической моделью жидкостной системы «жидкость+система шаров» половина расстояния Ω между двумя соседними шарами, очевидно, составит (рис. 2)

$$\Omega = R \cdot \eta^{-1/3}, \qquad (1)$$

где $\eta = V_ш/V$.

Полагают, что массоперенос к шарам от жидкой среды реализуется симметричным образом, и, кроме того, для выбранной расчетной модели, с удовлетворительной точностью, выполнены все, обычно принимаемые при анализе процесса массопереноса в сплошной среде, допущения по физико-механическим свойствам изучаемого объекта поток концентрации q ЦС в направлении оси r в принятой одномерной модели массопереноса в сферической системе отсчета рассчитывают по формуле [12] (первый закон Фика)

$$q = -D\frac{\partial c}{\partial r}, \qquad)$$

где D – полагаемый неизменным коэффициент диффузии; c – объемная концентрация агента; r – радиальная координата.

В таком случае в качестве исходного соотношения, описывающего кинетику распределения концентрации в растворе, выбирают отнесенное к сферическим координатам, с началом координат в центре O_1 шара, уравнение нестационарной диффузии (второй закон Фика) [12] (рис. 2).

Начальное условие по исходному распределению концентрации $c(r,t)$ принимают в виде

$$c(r,0) = c_0 \quad (R<r<\Omega), \qquad (4)$$

где c_0 – концентрация агента в растворе в начальный момент времени.

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D\left(\frac{\partial^2 c}{\partial r^2} + \frac{2}{r}\frac{\partial c}{\partial r}\right) \ (R<r<\Omega), \qquad (3)$$

где t – время.

Граничное условие на поверхности шара

$$c(R,t) = c_1 \ (0 < t < \infty), \qquad (5)$$

где c_1 – концентрация агента на поверхности шара.

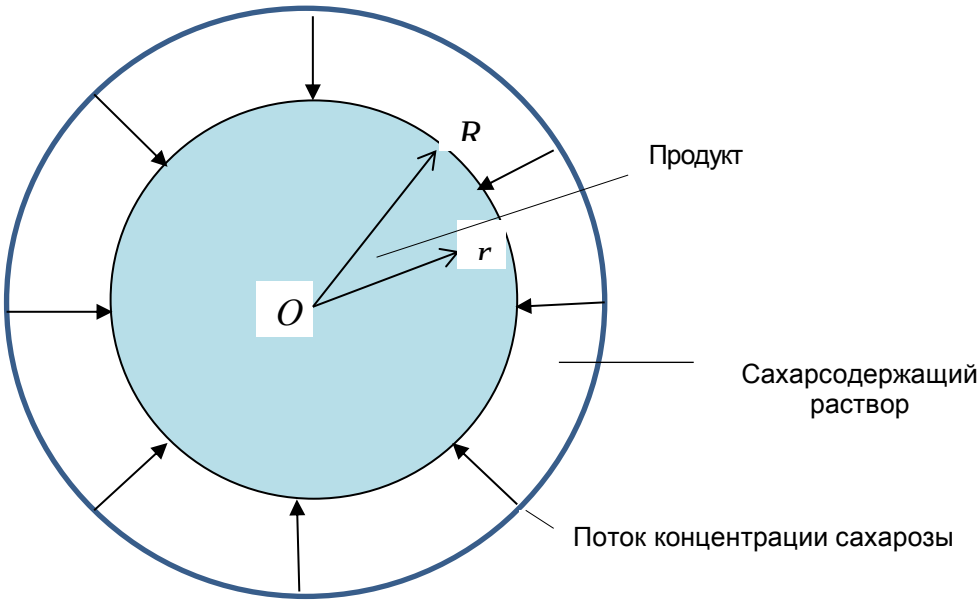


Рис. 1. Схема к расчету процесса обогащения продукта сахарозой

Fig. 1. The scheme for the calculation of product enrichment with sucrose

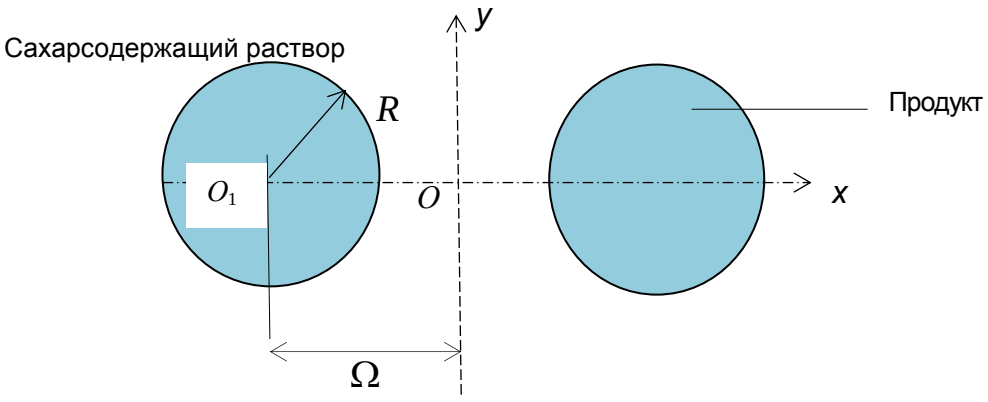


Рис. 2. Схема к расчету процесса массопереноса сахарозы в растворе

Fig. 2. The scheme for the calculation of mass transfer of sucrose in solution

Граничное условие симметричности поля концентрации между соседними шарами

$$\partial c(\Omega, t)/\partial r = 0 \qquad (0 < t < \infty), \qquad (6)$$

где Ω связана с R зависимостью (1).

Как видно, совокупность принятых по (4)–(6) выражений представляет собой краевую задачу с граничными условиями четвертого рода [13] для дифференциального уравнения (3).

Хотя решение задачи (3)–(6) известно, оно малопригодно для практических расчетов, так как имеет вид ряда с неявно определяемыми собственными значениями краевой задачи. Поэтому, как поступают в некоторых случаях, ниже применяют приближенный метод решения данной задачи, аналогичный методу осреднения.

С этой целью, как обычно, предварительно проводят замену переменной

$$c = u + c_1, \qquad (7)$$

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

$$u(R,t) = 0 \quad (0 < t < \infty), \qquad (8)$$

$$\partial u(\Omega, t)/\partial r = 0 \quad (0 < t < \infty). \qquad (9)$$

Начальное условие вследствие (4), (7) принимает форму

$$u(r,0) = \Delta c \ (R < r \le \Omega), \qquad (10)$$

где $\Delta c = c_0 - c_1 > 0$ – перепад концентрации в начальный момент времени t = 0При этом уравнение (3) по переменной u вследствие (7) сохраняет свой вид

$$\frac{\partial u}{\partial t} = D\left(\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{2}{r}\frac{\partial u}{\partial r}\right). \qquad (11)$$

В соответствии с предлагаемым методом решения начальное условие (10) с небольшой погрешностью заменяют его усредненным значением по прилегающей к шару шаровому слою ($R < r \le \Omega$)

$$\frac{3}{\Omega^3 - R^3}\int_R^\Omega u(r,0) r^2 dr = \Delta c. \qquad (12)$$

В свою очередь, усредняя левую часть уравнения (11) по тому же слою, принимают

$$\frac{3}{\Omega^3 - R^3}\int_R^\Omega \frac{\partial u}{\partial t} r^2 dr = D\varphi(t), \qquad (13)$$

где $\varphi(t)$ – функция, подлежащая определению.

В результате уравнение (11) заменяют приближенным

$$\partial^2 u/\partial r^2 + 2(\partial u/\partial r)/r = \varphi(t). \qquad (14)$$

Так как правая часть уравнения (14) зависит лишь от t, то, интегрируя его дважды по r, находят

$$u(r, t) = D_1 + D_2/r + r^2\varphi(t)/6, \qquad (15)$$

где D_1, D_2 – произвольные величины, зависящие от t.

Согласуя (15) с граничными условиями (8), (9), получают

$$D_1 = -(R^3 + 2\Omega^3)\varphi(t)/(6R), \ D_2 = \Omega^3\varphi(t)/3,$$

и поэтому вместо (15) имеют

$$u(r, t) = \psi(r)\varphi(t), \qquad (16)$$

где

$$\psi(r) = -(R^3+2\Omega^3)/(6R) + \Omega^3/(3r) + r^2/6. \qquad (17)$$

Подставляя (16) в (13), приходят к дифференциальному уравнению относительно искомой функции φ

$$Ad\varphi/dt = D\varphi, \qquad (18)$$

где

$$A = \frac{3}{\Omega^3 - R^3}\int_R^\Omega \psi(r) r^2 dr, \qquad (19)$$

Ω связано с R и концентрацией η зависимостью (1), $\psi(r)$ вычисляют по (17).

Интегрируя (18), получают

$$\varphi(t) = D_3 \cdot \exp(Dt/A), \qquad (20)$$

где D_3 – произвольная постоянная. Поэтому, в соответствии с (16), (20) имеют

$$u(r,t) = D_3\psi(r)\cdot\exp(Dt/A), \qquad (21)$$

где $\psi(r)$ задана по (17).

С целью определить D_3, подставляют (21) в (12)

$$\frac{3D_3}{\Omega^3 - R^3}\int_R^{\Omega}\psi(r)r^2dr = \Delta c,$$

откуда приходят к соотношению

$$D_3A = \Delta c, \qquad (22)$$

где A определяют по (19).

В результате чего, вследствие (21), (22) окончательно имеют

$$u(r,t) = \Delta c \cdot\psi(r)\cdot\exp(Dt/A)/A. \qquad (23)$$

Как видно, найденное по (23) выражение приведенной концентрации $u(r,t)$ имеет простую и удобную для количественного и качественного анализа мультипликативную форму. А именно, приведенная концентрация пропорциональна перепаду концентрации Δc, и, поскольку, согласно расчету, $A < 0$, $\psi(r) < 0$ при $R < r \le \Omega$, то в соответствии с (7), (23) концентрация целевой субстанции в жидкостной среде положительна, убывает по экспоненте с течением времени t и, тем быстрее, чем больше коэффициент диффузии D.

Если входящее в (23) выражение $\psi(r)$ заменить его усредненным значением $\overline{\psi} = A$ согласно (19), то (23) упрощается и принимает вид

$$\overline{u} = \Delta c\cdot\exp(Dt/A), \qquad (24)$$

где $\Delta c = c_0 - c_1$.

На базе количественного анализа (24) судят о распределении концентрации ЦС в емкости в заданный период времени.

Поток концентрации от этой субстанции к поверхности шара согласно (2), (23) (с точностью до знака) вычисляют по зависимости

$$q(t)=D(R^3-\Omega^3)/(3AR^2)\cdot\Delta c\cdot\exp(Dt/A). \qquad (25)$$

На основе (25) полный удельный объем Q ЦС, подводимый к единице поверхности шара за время T, рассчитывают по зависимости

$$Q = \int_0^T q(\tau)d\tau = \frac{(\Omega^3 - R^3)\Delta c}{3R^2}[1 - \exp(\frac{DT}{A})], \text{ м.} \qquad (26)$$

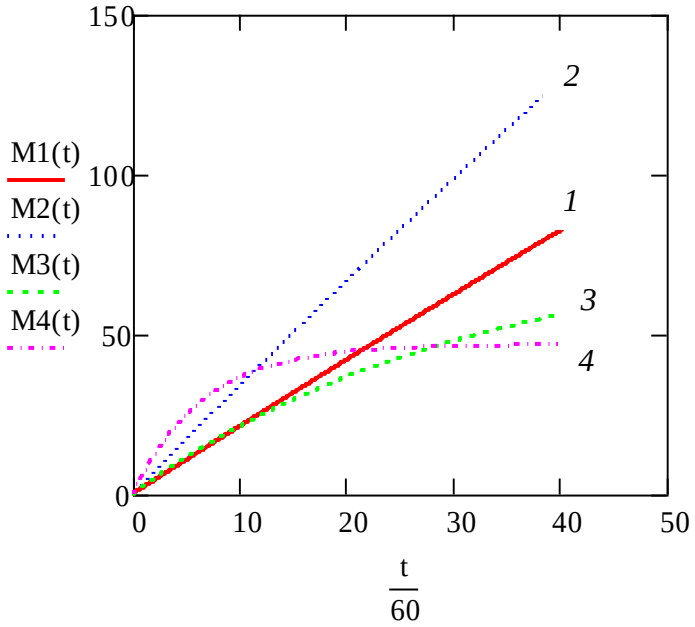


Рис.3. Зависимости массы сахарозы (кг) в 1 м^3 рабочего объема емкости от периода времени t (мин) обработки продукта, для различных значений диаметра d (мм) и объемной концентрации η (%) продукта в растворе (Δc = 0,15; d = 10 мм: 1 – η = 0,50; 2 – η = 70%; d = 20 мкм: 3 – η = 50; 4 – η = 70%)

Fig. 3. Processing time (min) dependence of sucrose mass (kg) in 1 m^3 of capacity for various values of diameter d (mm) and volume concentrations η (%) of product in solution (Δc = 0.15; d = 10 mm: 1 – η = 0,50; 2 – η = 70 %; d = 20 mm: 3 – η = 50; 4 – η = 70%

В соответствии с (26) отнесенная к единице объема емкости масса *M* ЦС, отдаваемая раствором твердой фазе (продукту), составляет

$$M = 6\rho \cdot \eta \cdot Q / d, \qquad (27)$$

где ρ – плотность; η – объемная концентрация; *d* – диаметр твердой фазы; *Q* – вычисляют по (26).

В соответствии с (26) предельное значение подводимого к единице поверхности шара объема ЦС составляет

$$Q_{пред} = \lim_{T\to\infty} Q = (\Omega^3 - R^3)\Delta c / (3R^2). \qquad (28)$$

Откуда, если задавать определяемое по (26) значение текущего полного удельного объема *Q* в долях κ предельного значения этого объема согласно (27), т.е.

$$Q/Q\text{пред} = \kappa, \qquad (29)$$

то, исходя из (26)-(28), получают расчетное значение периода обработки продукта раствором

$$\tau = A\ln(1-\kappa)/D, \qquad (30)$$

где *A* вычисляют по (19),а κ – по (29).

Как видно из (30), согласно принятой расчетной схеме, с одной стороны, выявляется сильная (по закону обратной пропорциональности) зависимость периода τ обработки продукта от величины коэффициента *D* диффузии, с другой стороны, отсутствие влияния на период τ коэффициента Δc – пересыщенности раствора.

ЧИСЛЕННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Рассматривается пример расчета процесса обогащения сахарозой плодов диаметром *d* = 10; 20 мм как выявление зависимости массы сахарозы от времени.

Согласно данным [2] коэффициент диффузии принимали $D = 5\cdot10^{-10}$ м^2/с, что примерно соответствует значению данного коэффициента при температуре сахарсодержащего раствора 70° С. Коэффициент пересыщенности раствора принимали Δc = 0,15. Предполагали, что твердая фаза монодисперсна, объемная концентрация ее в растворе η = 50; 70%.

По выбранным таким образом исходным параметрам, на базе (27), рассчитаны параметрические по размеру *d*, пересыщенности Δc ЦС в растворе и их объемной концентрации η графические зависимости удельной массы сахарозы от периода времени обработки продукта (рис. 3).

Из вида графиков рис. 3 выявляется согласие полученных результатов количественного моделирования рассматриваемого процесса с его физическим смыслом. А именно, естественное увеличение массы сахарозы, отдаваемой раствором продукту, в зависимости от периода его обработки (все кривые рис. 3).

Отмечается сильная зависимость результатов обработки продукта от его размера – с ростом этого показателя интенсивность обессахаривания раствора со временем быстро снижается (на рис. 3 кривые 1, 2 располагаются выше кривых 3, 4). Причем, если по продукту небольшого размера (рис. 3, кривые 1, 2) интенсивность подвода сахарозы к продукту практически сохраняется, то при большем размере твердой фазы процесс осаждения ЦС в начальный период обработки изменяется по экспоненте и, как видно по продукту диаметром 20 мм, при его концентрации η = 70 % в емкости, этот процесс примерно стабилизируется по времени (рис. 3, кривая 4).

Кроме того, если по всем вариантам расчета, в начальный период (примерно до 30 мин), когда увеличивается концентрация η твердого, а, значит, и общая поверхность осаждения на продукте, возрастает и масса сахарозы на нем. Далее, из-за обессахаривания раствора и условия баланса массы сахарозы в растворе, картина процесса видоизменяется. Так, по плодам размером 20 мм, начиная с тридцатой мин. проведения процесса обработки, и, как показано расчетом, для плодов диаметром 10 мм, начиная с 1700 мин., из-за роста общей поверхности осаждения при более высокой концентрации твердого отмечается и возрастание массы подводимой к продукту сахарозы.

ВЫВОДЫ

На основе модели молекулярного массопереноса для ЦС типа сахарозы от межкристального раствора к совокупности шарообразных тел, имитирующих коллектив плодов в некоторой емкости, предлагается аналитический аппарат по расчету процесса обогащения данной целевой субстанцией плодов, как зависимости массы сахарозы от времени.

Дается оценка времени обогащения плодов по относительному к предельному значению периода времени подвода к продукту целевой субстанции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Силин П.М. Технология сахара. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Пищевая промышленность, 1967. 626 с.

2. Михатова Г.Н., Каганов И.Н. Расчет продуктов сахарного производства. М: Пищевая промышленность, 1973. 160 с.

3. Сапронов А.Р. Технология сахарного производства 2 изд., испр. и доп. М: Колос, 1999. 496 с.

4. Семенов Е.В., Славянский А.А., Ильина В.В. К расчету периода кристаллизации сахарозы в вакуум-аппарате // Хранение и переработка сельхозсырья. 2004. N 12. С. 23–25.

5. Гнездилова А.И., Шевчук В.Б. Кинетика массовой кристаллизации лактозы в пересыщенных водных растворах: сб. тр. конф. Вологодской государственной молочнохозяйственной академии им. Н.В. Верещагина. 2005. С. 43–46.

6. Громковский А.И., Последова Ю.И., Бражников Н.Н. Оптимальный режим уваривания утфеля I продукта // Сахар. 2008. N 8. С. 54–56.

7. Виноградова Ю.В., Гнездилова А.И. Влияние пересыщения, интенсивности перемешивания и температуры на кинетику массовой кристаллизации лактозы: сб. тр. конф. Вологодской государственной молочнохозяйственной академии им. Н.В. Верещагина. 2009. С. 18–24.

8. Mantovani G. Growth and morphology of sucrose crystal // Int. Sugar J. 1991. V. 93. N 1106. P. 23–32.

9. Lin L., Siguan G., Bing L. Study on the hydrodynamic problems in the crystal growth from solution // J.S. China Univ. Technol. Natur. Sci. 1996. V. 24. N 6. P. 25–29.

10. Grimsey I.M., Herrington T.M. The formation of inclusions in sucrose crystals // Int. Sugar J. 1994. V. 96, N 1152. P. 504–514.

11. Семенов Е.В., Славянский А.А., Сергеева Е.А. Щитова Т.А. Особенности диффузионного процесса кристаллизации сахарозы // Сахар. 2013. N 3. С. 46–50.

12. Кошляков Н.С., Глинер Э.Б., Смирнов М.М. Основные дифференциальные уравнения математической физики. М.: ГИФМЛ, 1962. 767 с.

13. Лыков А.В. Теория теплопроводности. М.: Высш. шк., 1967. 600 с.

REFERENCES

1. Silin P.M. *Tekhnologiya sakhara* [Sugar technology]. Moscow: Pishchevaya promyshlennost' Publ., 1967, 626 p.

2. Mikhatova G.N., Kaganov I.N. *Raschet produktov sakharnogo proizvodstva* [Calculation of sugar production]. Moscow: Pishchevaya promyshlennost' Publ., 1973, 160 p.

3. Sapronov A.R. *Tekhnologiya sakharnogo proizvodstva* [Technology of sugar production]. Moscow: Kolos Publ., 1999, 496 p.

4. Semenov E.V., Slavyanskii A.A., Il'ina V.V. For the calculation of the period of sucrose crystallization in vacuum apparatus. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyr'ya* [Storage and processing of farm products]. 2004, no. 12, pp. 23–25. (in Russian)

5. Gnezdilova A.I., Shevchuk V.B. Kinetics of bulk crystallization of lactose in supersaturated aqueous solutions. *Sbornik trudov konferentsii Vologodskoi gosudarstvennoi molochnokhozyaistvennoi akademii N.V. Vereshchagina* [Proc. Conf. N.V. Vereshchagin Vologda State Milk Academy]. Vologda, 2005, pp. 43–46. (in Russian)

6. Gromkovskii A.I., Posledova Yu.I., Brazhnikov N.N. Optimal cristalization massecuite of I product. *Sakhar* [Sugar]. 2008, no. 8, pp. 54–56. (in Russian)

7. Vinogradova Yu.V., Gnezdilov A.I. Effect of supersaturation, mixing intensity and temperature on kinetics of bulk crystallization of lactose. *Sbornik trudov konferentsii Vologodskoi gosudarstvennoi molochnokhozyaistvennoi akademii N.V. Vereshchagina* [Proc. Conf. N.V. Vereshchagin Vologda State Milk Academy]. Vologda, 2009, pp. 18–24. (in Russian)

8. Mantovani G. Growth and morphology of sucrose crystal. *Int. Sugar J*. 1991, vol. 93, no. 1106, pp. 23–32.

9. Lin L., Siguan G., Bing L. Study on the hydrodynamic problems in the crystal growth from solution. *J.S. China Univ. Technol. Natur. Sci*. 1996, vol. 24, no. 6, pp. 25–29.

10. Grimsey I.M., Herrington T.M. The formation of inclusions in sucrose crystals. *Int. Sugar J*. 1994, vol. 96, no. 1152, pp. 504–514.

11. Semenov E.V., Slavyanskii A.A., Sergeeva E.A. Shchitova T.A. Features of the diffusion process of crystallization of the sucrose. *Sakhar* [Sugar]. 2013, no. 3, pp. 46–50. (in Russian)

12. Koshlyakov N.S., Gliner E.B., Smirnov M.M. *Osnovnye differentsial'nye uravneniya matematicheskoi fiziki* [Basic differential equations of mathematical physics]. Moscow: GIFML Publ., 1962, 767 p.

13. Lykov A.V. *Teoriya teploprovodnosti* [Theory of thermal conductivity]. Moscow: Vysshaya shkola Publ., 1967, 600 p.

Критерии авторства

Семенов Е.В., Славянский А.А., Макарова С.А. выполнили экспериментальную работу, на основании полученных результатов провели обобщение и написали рукопись. Семенов Е.В., Славянский А.А., Макарова С.А. имеют на статью равные авторские права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ
Принадлежность к организации

Евгений В. Семенов
Московский государственный университет технологий и управления
им. К.Г. Разумовского (ПКУ).
Д.т.н., профессор
sem-post@mail.ru.

Анатолий А. Славянский
Московский государственный университет технологий и управления
им. К.Г. Разумовского (ПКУ).
Д.т.н., профессор,
заведующий кафедрой технологии переработки растительного сырья и парфюмерно-косметических изделий
mgutu-sahar@mail.ru.

Светлана А. Макарова
Московский Государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ).
К.х.н., доцент**,**
mgutu-sahar@mail.ru

Поступила 12.12.2016

Contribution

Semenov E.V., Slavyanskiy A.A., Makarova S.A. carried out the experimental work, on the basis of the results summarized the material and wrote the manuscript. Semenov E.V., Slavyanskiy A.A., Makarova S.A. 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 article.

AUTHORS' INDEX
Affiliations

Evgenii V. Semenov
Moscow State University of Technology and Management named after K.G. Razumovsky
Doctor of Engineering, Professor
sem-post@mail.ru.

Anatolii A. Slavyanskiy
Moscow State University of Technology and Management named after K.G. Razumovsky
Doctor of Engineering, Professor
Head of the Department of Technology for the Processing of Vegetable Raw Materials and Perfumery and Cosmetics
mgutu-sahar@mail.ru

Svetlana A. Makarova
Moscow State University of Technology and Management named after K.G. Razumovsky
Ph.D. (Chemistry), Associate Professor,
mgutu-sahar@mail.ru

Received 12.12.2016