

## Literatura

1. Tehnologija moloka i molochnyh produktov / G.V. Tverdohleb, Z.H. Dilanjan, L.V. Chekulaeva [i dr.]. – M.: Agropromizdat, 1991. – 463 s.
2. Tehnologija moloka i molochnyh produktov / G.N. Krus', A.G. Hramcova, Z.V. Volokitina [i dr.] / pod red. A.M. Shalyginov. – M.: KolosS, 2004. – 455 s.
3. Prosekov A.Ju., Ermolaev V.A. Podbor ostatochnogo davlenija dlja vakuumnogo koncentrirvanija zhidkih molochnyh produktov // Dostizhenie nauki i tehniki APK. – 2010. – № 6. – S. 69–70.
4. Ermolaev V.A. Issledovanie vlijanija temperatury poverhnosti kondensatora na intensivost' vakuumnogo koncentrirvanija zhidkih molochnyh produktov // Dostizhenie nauki i tehniki APK. – 2010. – № 5. – S. 71–72.
5. Ermolaev V.A. Issledovanie processov vakuumnogo koncentrirvanija moloka // Sovremennye tehnologii produktov pitaniya: teorija i praktika proizvodstva: mat-ly mezhdunar. nauch.-prakt. seminar. – Omsk, 2010. – S. 91–93.
6. Haritonov V.D., Granovskij V.Ja. Jefferektivnost' razlichnyh sposobov poluchenija suhogo moloka: obzornaja informacija / CNITJelmjasomolprom. – M., 1982. – 31 s.
7. Popova I.D., Fialkova T.A., Haritonov V.D. Sposob proizvodstva koncentrata molochnoj syvorotki // Molochnaja promyshlennost'. – 2002. – № 1. – S. 34–36.



УДК [641. 1/3.047:543.613]:[536.75:66.081]

В.М. Позняковский, И.Ю. Алексанян,  
А.Х.-Х. Нугманов, Е.В. ФоменкоЭНТРОПИЙНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ В УРАВНЕНИИ ГИББСА–ГЕЛЬМГОЛЬЦА  
ДЛЯ ХАРАКТЕРИЗАЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ СТЕПЕНИ УСВОЕНИЯ КУЛИНАРНЫХ БЛЮДV.M. Poznyakovsky, I.Y. Aleksanyan,  
A.H.-H. Nugmanov, E.V. FomenkoENTROPY COMPONENT IN THE EQUATION OF GIBBS–HELMHOLTZ TO CHARACTERIZE  
CHANGES IN THE DEGREE OF ASSIMILATION OF CULINARY DISHES

В статье предлагается использовать термодинамический подход к определению кинетических коэффициентов внутреннего и внешнего массо- и энергопереноса, а также граничных условий в процессе кулинарной обработки, необходимых для решения математической модели переноса пищевых компонентов и энергетической ценности. Авторами изучаются теплообменные процессы при конструировании и приготовлении кулинарных блюд. Методами термодинамического анализа находятся показатели связи влаги с материалом, а также степени усвоения пищевых компонентов и калорий организмом человека. Выделены характерные особенности сорбции в зависимости от внутримолекулярного взаимодействия углеводородных цепей, их длины, разветвленности и энергии. Авторами указы-

вается на преобладание осмотического механизма сорбции, поскольку количество характерных участков и точек перегиба на изотермах сорбции материалов связано с наличием ячеек, закрытых и открытых капилляров, клеточных оболочек и мицелл, свойственных растительным компонентам. При количественной оценке характера изменений термодинамических составляющих уравнения Гиббса–Гельмгольца авторами использовались положения статистики процессов взаимодействия с водой, а также приёмы анализа изотерм сорбции для изохорно-изобарно-изотермического процесса. В процессе исследования, на основе выведенных зависимостей для кулинарных блюд получены значения энтропийной составляющей при влажности материала до и после переработки. Рассмотр-

ны зависимости вида и характера изотерм сорбции большинства пищевых продуктов, отличия численных значений термодинамических коэффициентов массопереноса и гигроскопических характеристик. Для решения математической модели переноса пищевых компонентов и калорий авторами представлены результаты экспериментального определения кинетических коэффициентов внутреннего и внешнего массо- и энергопереноса, граничные условия в процессе обработки. Авторами предлагается на основе термодинамического анализа кривых равновесия определять степень усвоения пищевых компонентов организмом человека, интенсивность их переноса и энергетическую ценность.

**Ключевые слова:** термодинамический анализ, термодинамическая энтропия, энергия связи Гиббса, уравнение Гиббса – Гельмгольца, энергетическая ценность.

*In the article it is suggested to use the thermodynamics going near determination of kinetic coefficients internal and external mass- and energytransfer, and also border terms in the process of culinary treatment, necessary for the decision of mathematical model of transfer of food components and power value. Authors are study heat-exchange processes at constructing and preparation of culinary dishes. The methods of thermodynamics analysis are indexes of connection of moisture with material, and also degrees of mastering of food components and calories by the organism of man. The characteristic features of persorption are distinguished depending on intramolecular cooperation of hydrocarbon chains, their length, ramified and energy. Specified authors on predominance of osmotic mechanism of persorption, as an amount of characteristic areas and inflectionpoints on the isotherms of persorption of materials is related to the presence of cells, closed and open capillaries, cellular shells and micelles, peculiar to the vegetable components. At quantitative estimation of character of changes of thermodynamics constituents of equalization of Gibbs-Helmholtz authors positions of statics of processes of co-operating were used with water, and also receptions of analysis of isotherms of persorption for isochoric- isobar- isothermal processes. In the process of research, on the basis of the shown out dependences for culinary*

*dishes the values of entropy constituent are got at humidity of material before and after processing. Dependences of kind and character of isotherms of persorption of most food products, difference of numeral values of thermodynamics coefficients of transfer of mass and hygrosopic descriptions are considered. For the decision of mathematical model of transfer of food components and calories authors are present the results of experimental determination of kinetic coefficients internal and external mass- and energytransfer, border terms in the process of treatment. It is suggested authors on the basis of thermodynamics analysis of curves of equilibrium to determine the degree of mastering of food components the organism of man, intensity of their transfer and power value.*

**Keywords:** the thermodynamic analysis, thermodynamic entropy, binding energy of Gibbs, Gibbs's equation – Helmholtz, power value.

**Введение.** Феноменологический подход в науке позволяет создавать теории для наблюдаемых явлений (феноменов), например, термодинамика в физике, где описание поведения макроскопических тел в тепловых процессах с помощью небольшого числа макроскопических параметров и некоторых функций от этих параметров оказывается достаточным для решения большого круга задач, представляющих технический интерес.

Основные положения термодинамики справедливы практически для любой системы и использование термодинамических методов (циклов и потенциалов) позволяет описывать даже сложные физические процессы.

Исследование статики теплообменных кулинарных процессов является базой для научно-обоснованного анализа правильности применения известных и создания оригинальных способов моделирования, проектирования и конструирования пищевых многокомпонентных смесей.

**Цель исследования:** определение степени усвоения пищевых компонентов организмом человека на основе термодинамического анализа кривых равновесия ингредиентов, входящих в пищевую систему до и после кулинарной обработки.

Исходя из цели исследования, становится необходимым решение следующего ряда **задач:** определение для кулинарных продуктов

значения энтропийной составляющей при заданной влажности материала до и после переработки компонентов; определение энергии связи влаги с материалом до и после теплового воздействия; степени усвоения пищевой энергии организмом человека методами термодинамического анализа.

**Объекты и методы исследования.** В качестве объектов исследования являлись овощи (столовая свекла ГОСТ Р 51811-2001 «Свекла столовая свежая, реализуемая в розничной торговой сети», морковь ГОСТ Р 51782-2001 «Морковь столовая свежая, реализуемая в розничной торговой сети» и картофель свежий продовольственный ГОСТ Р 51808-2013 (ЕЭК ООН FFV-52:2010) «Картофель продовольственный. Технические условия») до и после варки на пару.

*Активность воды* определялась тензотермическим (эксикаторным) методом Ван-Бамелена, на экспериментальной установке, которая состоит из эксикатора, содержащего водный раствор серной кислоты, весов аналитических с погрешностью не более 0,1 % (второй класс точности по ГОСТ 24104-88), хромель-копелевой термопары ХК(L) ТП-011 с погрешностью не более 0,5 К (характеристики прибора регламентируются ГОСТ Р 8.585-2001), подсоединенной к мультиметру.

*Степень усвоения кулинарной продукции организмом*  $K_{усв}$  определяли, получив значение энтропийной составляющей при необходимой по технологии влажности материала до и после обработки (разница энтропийных составляющих).

Исследования проводились в 3–5-кратной повторности. Результаты исследований обрабатывались современными методами расчета статистической достоверности измерений, а также с помощью компьютерных программ и являются достоверными.

Термодинамический анализ на основе обработки изотерм сорбции (десорбции), зависимости между равновесными параметрами (относительной влажностью воздуха или активностью воды и влагосодержанием продукта  $A_w = f(U_p)$ ) определяет не только энергию связи влаги с материалом, но и степень усвоения пищевых компонентов и калорий организмом человека, так как энергия связи влаги с сухим веществом зависит от связи молекул, частиц или

фракций между собой, т. е. эти силы взаимодействия между собой и водой взаимосвязаны и в большой степени определяются энергетической энтропийной составляющей, особенно при диспергировании продукта, его механической или тепловой обработке (измельчении, варке и т. п.) [1].

Совпадает вид и характер изотерм сорбции большинства пищевых продуктов. Незначительные расхождения между численными значениями термодинамических коэффициентов массопереноса и гигроскопических характеристик можно объяснить разными видами тепловой обработки или гидролиза сырья. Поскольку продукты животного и растительного происхождения относятся к сложным биополимерным системам, то применимы некоторые положения физической химии полимерных и белковых веществ.

В зависимости от внутримолекулярного взаимодействия углеводородных цепей, их длины, разветвленности и энергии выделяются характерные особенности сорбции. Количество характерных участков и точек перегиба на изотермах сорбции материалов обусловлено наличием ячеек, закрытых и открытых капилляров, клеточных оболочек и мицелл (поскольку присутствуют растительные компоненты), которые предполагают преобладание набухания – осмотического механизма сорбции.

В случае нахождения диапазона влагосодержаний, лимитирующего тепломассобменный процесс в гигроскопической области, механизм массопереноса при обезвоживании определяем формой и энергией связи влаги с материалом, а также частиц или фракций между собой [2].

Энергия связи влаги с материалом:

$$E = - \left( \frac{\partial \Delta F}{\partial U_p} \right) = -R \cdot T \cdot \ln A_w. \quad (1)$$

Продифференцируем уравнение Гиббса – Гельмгольца:

$$\Delta F = \Delta E - T \cdot \Delta S \quad (2)$$

где –  $\Delta S$ ;  $\Delta E$  (соответственно изменения внутренней энергии (энтальпии) и энтропии, по  $U_p$  при  $P, T = \text{const}$ ).

Получим:

$$\left(\frac{\partial \Delta F}{\partial U_p}\right)_{T,P} = \left(\frac{\partial \Delta E}{\partial U_p}\right)_{T,P} - T \cdot \left(\frac{\partial \Delta S}{\partial U_p}\right)_{T,P}. \quad (3)$$

Для получения выражения по дифференциальному изменению энтропии связанной воды, частиц или фракций друг с другом, продифференцируем это выражение по T:

$$\frac{\partial}{\partial T} \left(\frac{\partial \Delta F}{\partial U_p}\right)_{T,P} = - \left(\frac{\partial \Delta S}{\partial U_p}\right)_{T,P} - \left(\frac{\partial \Delta S}{\partial U_p}\right)_{T,P} = \left(\frac{\partial (RT \ln A_w)}{\partial T}\right)_{T,P}$$

Для количественной оценки характера изменений термодинамических составляющих уравнения Гиббса-Гельмгольца используем положения статики процессов взаимодействия с водой и приемы анализа изотерм сорбции для изохорно-изобарно-изотермического процесса, где  $T \cdot \frac{\partial (\Delta S)}{\partial U_p}$  – энтропийная составляющая свободной энергии [4].

Характер изменения  $T \cdot \frac{\partial (\Delta S)}{\partial U_p}$  свидетельствует о значительной гибкости макромолекул, наличии полупроницаемых мембранных оболочек (клеточных оболочек, стенок мицелл) и ориентационном, структурном (иммобилизационном) и осмотическом механизме их взаимодействия с водой.

Уравнение Гиббса-Гельмгольца базируется на правиле фаз Гиббса, определяющем число степеней свободы системы (число независимых параметров, которые можно выбирать произвольно, и они определяют значения всех остальных параметров):  $S_{cc} = k - f + 2$ , где  $k$  – число компонентов,  $f$  – число фаз.

При тепловой и механической обработке (диспергировании) системы (пищевых продуктов или смесей), на первый взгляд сохраняется число компонентов, а число подобных фаз, фракций, частиц, контактирующих между собой, возрастает, что по идее уменьшает число степеней свободы системы  $S_{cc}$ , однако при этом уменьшается связь между частицами, энтропия системы растет, следовательно растет и  $S_{cc}$ , а также степень усвоения компонентов диспергированных частиц организмом человека [3].

Этот парадокс можно объяснить тем, что  $k$  – это число переносимых компонентов, т. е., к примеру, при тонком измельчении, тепловой обработке (разваривании и т. п.) число компонентов возрастает, а перенос между подобными фазами, т. е. частицами с одинаковыми характеристиками (потенциалами) отсутствует. Иными словами, в аспекте массопереноса число компонентов при обработке материала увеличивается, а число фаз не меняется, что и приводит к росту энтропии и числа степеней свободы системы, и, как следствие, степени усвоения ценных компонентов пищевых продуктов организмом индивидуума.

Особенно отметим, что энтропийная составляющая в уравнении Гиббса-Гельмгольца для определения свободной энергии характеризует, в основном, состояние структурной, иммобилизационной – внутриклеточной влаги, энтропия которой растет при разрушении ячеек, замкнутых микро- и макрокапилляров, клеток, что и происходит при механической и тепловой обработке пищевых продуктов [4]. При этом растет энтропия и числа степеней свободы системы, и, как следствие, степень усвоения переносимых компонентов пищевых продуктов, пищевых калорий, витаминов и другого организмом индивидуума.

Определив из полученных зависимостей для любого продукта значение энтропийной составляющей при необходимой по технологии влажности материала до и после обработки (разница энтропийных составляющих), можно определить степень усвоения переносимых компонентов пищевых продуктов, пищевых калорий (изменение калорийности), витаминов и другого организмом индивидуума, а также изменение энергетической и пищевой ценности продукта в процессе обработки.

Данная разница энтропийных составляющих позволит определить кинетические коэффициенты внутреннего и внешнего массо- и энергопереноса, а также граничные условия в процессе обработки, необходимые для решения математической модели переноса пищевых компонентов и калорий. Учитывая, что влажность продукта до и после, а также при различной степени обработки может быть варьируемой, необходимо получить кривые равновесия и их математическую интерпретацию для определения диапазонов влияющих факторов и определения коэффициентов и параметров при любой влажности и степени обработки исследуемого материала.

Учитывая, что пищевая энергетическая ценность не равна общей энергии потребляемых продуктов, степень усвоения энергии организмом можно оценить критерием (симплексом) – отношением пищевой калорийности или энтропийной составляющей в уравнении Гиббса-Геймгольца к общей энергии Гиббса, т. е.

$$K_{усв} = \frac{\mathcal{E}^y}{\mathcal{E}_{общ}} = \frac{\mathcal{E}^y}{RT \ln A_w + T \frac{\partial \Delta S}{\partial U_p}}$$

$$= \frac{\mathcal{E}^y}{\frac{\partial \Delta F}{\partial U_p} + T \frac{\partial \Delta S}{\partial U_p}}$$

или

$$K_{усв} = \frac{T \frac{\partial \Delta S}{\partial U_p}}{\frac{\partial \Delta F}{\partial U_p} + T \frac{\partial \Delta S}{\partial U_p}}$$

Если в знаменатель данных уравнений подставить разность калорийности или энтропийной составляющей продукта до и после переработки, то получим величину, характеризующую изменения степени усвоения в процессе реализации кулинарной технологии.

**Результаты исследования и их обсуждение.** По экспериментальным и расчетным данным построены графики изотерм сорбции картофеля, свеклы и моркови до и после тепловой и механической обработки (рис. 1).

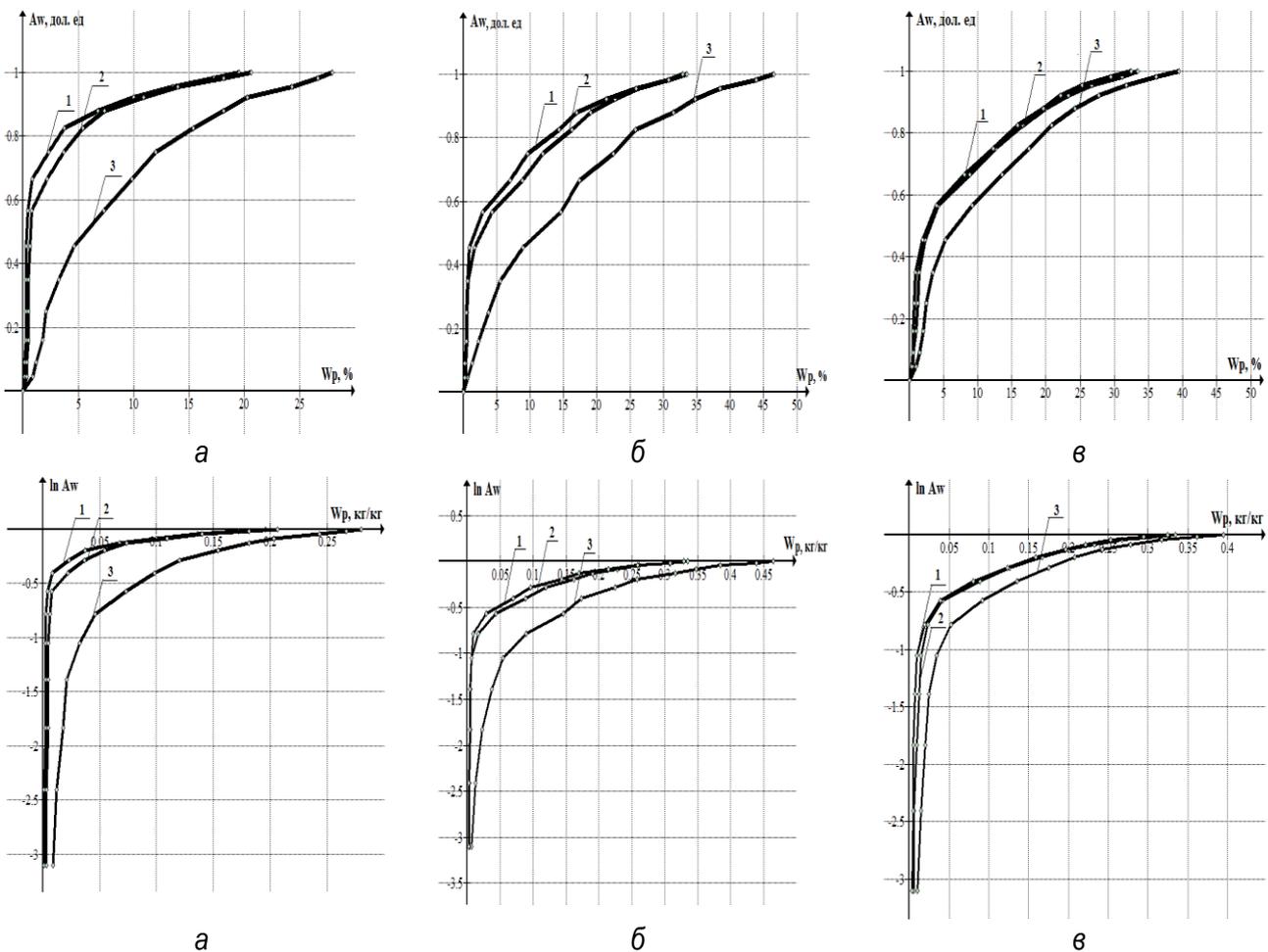


Рис. 1. График изотерм сорбции: а – картофеля; б – свеклы и в – моркови до и после тепловой и механической обработки при температуре 25 °С; 1 – продукт отварной измельченный; 2 – продукт отварной целый; 3 – продукт свежий

Проведена аппроксимация кривых изотерм сорбции овощей линейными уравнениями по зонам (рис. 2), что позволит получить необходимые данные для выявления закономерностей

изменения калорийности продуктов в результате обработки и степени усвоения ценных компонентов пищи организмом человека.

$K_{усв}$  для случая варки картофеля, свеклы и моркови на пару и его дальнейшей протирки (измельчение) равен соответственно 0,25; 0,30; 0,14.

Полученные данные, как и комплекс зависимостей структурно-механических и теплофизических характеристик пищевых продуктов и смесей от влияющих факторов, необходимы для физико-математического моделирования процессов обработки продуктов питания и проникновения энергетически ценных компонентов в материалы и организм индивидуума.

Термодинамический анализ может использоваться для решения вопросов устойчивости отдельных фаз и соединений, а также для установления наиболее общих закономерностей протекания энергетического взаимодействия в пищевых материалах. Выяснение последовательности перераспределения энергии, ее термодинамической вероятности в тех или иных пищевых системах помогает объяснять процессы, происходящие в системе и находить пути совершенствования технологии.

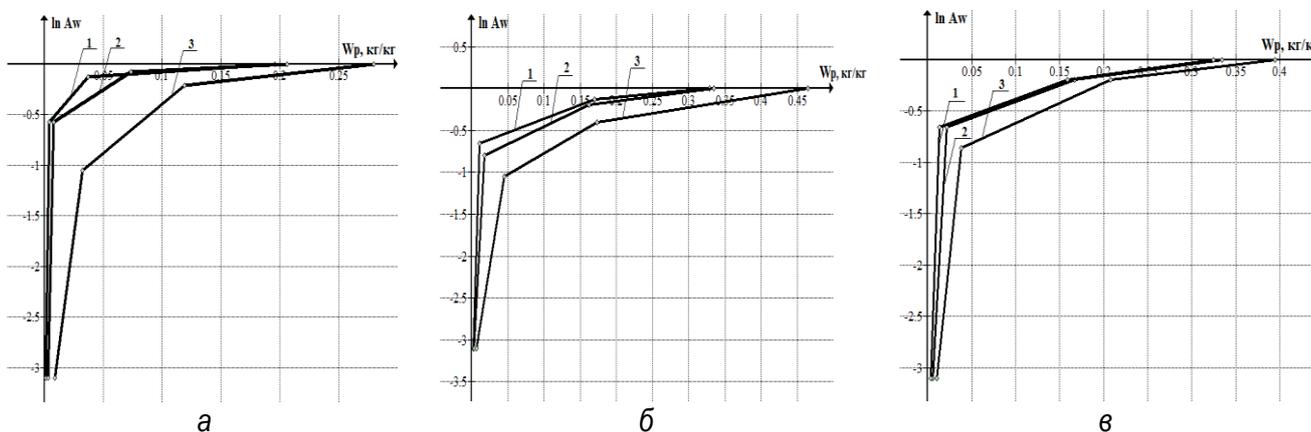


Рис. 2. Линейно аппроксимированные графики изотерм сорбции: а – картофеля; б – свеклы; в – моркови до и после тепловой и механической обработки при температуре 25 °С; 1 – продукт отварной измельченный; 2 – продукт отварной целый; 3 – продукт сырой

**Выводы.** Формализованное математическое описание технологии, направленное на создание оригинальных пищевых систем, основанное на теплофизическом и термодинамическом энергетическом подходе (с учетом энтропии системы) позволит достигнуть рациональных решений поставленных задач. Ведь абстрактное понятие энтропии, как и понятие энергия, искусственно введенное, но полезное для термодинамических расчетов, стало часто использоваться не только в границах термодинамики, но и в статистике, информационных технологиях, математике, лингвистике, интеллектуальной области и др.

Термодинамический анализ может использоваться для решения вопросов устойчивости отдельных фаз и соединений, а также для установления наиболее общих закономерностей протекания энергетического взаимодействия в пищевых материалах. Выяснение последовательности перераспределения энергии, её термодинамической вероятности в тех или иных пищевых системах помогает объяснять процессы, происходящие в системе, и находить пути совершенствования технологии, опираясь на феноменологические исследования. Первым шагом определения последовательности и термодинамической вероятности перераспределения энергии в пищевых системах и является степень усвоения компонентов организмом человека.

Первым шагом определения последовательности и термодинамической вероятности перераспределения энергии в пищевых системах и является степень усвоения компонентов организмом человека.

### Литература

1. Титова Л.М., Алексанян А.И., Прямухин С.В. и др. Развитие методов моделирования процессов тепломассообмена в полидисперсных системах на основе комплексного анализа их сорбционных свойств // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. – 2014. – № 1 (57). – С. 115–118.

2. Вода в пищевых продуктах: пер. с англ. // под ред. Р.Б. Дакуорта. – М.: Пищевая промышленность, 1980. – 575 с.
3. Нугманов А.Х.-Х. Научно-практические подходы к конструированию многокомпонентных пищевых систем в технологии общественного питания. – Астрахань, 2016. – 88 с.
4. Осипов А.И., Уваров А.В. Энтропия и ее роль в науке // Соросовский образовательный журнал. – 2004. – № 1. – С. 70–79.
- teplomassoobmena v polidispersnyh sistemah na osnove kompleksnogo analiza ih sorbcionnyh svojstv // Vestn. Astrahan. gos. tehn. un-ta. – 2014. – № 1 (57). – S. 115–118
2. Voda v pishhevyyh produktah: per. s angl. // pod red. R.B. Dakuorta. – M.: Pishhevaya promyshlennost', 1980. – 575 s.
3. *Nugmanov A.H.-H.* Nauchno-prakticheskie podhody k konstruirovaniyu mnogokomponentnyh pishhevyyh sistem v tehnologii obshchestvennogo pitaniya. – Astrahan', 2016. – 88 s.
4. *Osipov A.I., Uvarov A.V.* Jentropija i ee rol' v nauke // Sorosovskij obrazovatel'nyj zhurnal. – 2004. – № 1. – S. 70–79.

#### Literatura

1. *Titova L.M., Aleksanjan A.I., Prjamuhin S.V.* i dr. Razvitie metodov modelirovaniya processov



УДК 641.55

*О.М. Сергачева, М.Д. Батраев,  
А.М. Тимофеева, И.В. Изосимова*

#### РАЗРАБОТКА РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА В ПРИГОТОВЛЕНИИ СУПОВ ДЛЯ ОБЩЕСТВЕННОГО ПИТАНИЯ НА АППАРАТЕ «VARIOCOOKING CENTER VCC 112»

*О.М. Sergacheva, M.D. Batraev,  
M.A. Timofeeva, I.V. Izosimova*

#### THE DEVELOPMENT OF RESOURCE-SAVING TECHNOLOGICAL PROCESS IN THE PREPARATION OF SOUPS FOR FOODSERVICE APPARATUS «VARIOCOOKING CENTER VCC 112»

**Сергачева О.М.** – канд. техн. наук, доц. каф. технологии и организации общественного питания Торгово-экономического института Сибирского федерального университета, г. Красноярск. E-mail: oms01081973@gmail.com

**Батраев М.Д.** – канд. техн. наук, доц. каф. технологии и организации общественного питания Торгово-экономического института Сибирского федерального университета, г. Красноярск. E-mail: tim-da@mail.ru

**Тимофеева А.М.** – канд. техн. наук, доц. каф. технологии и организации общественного питания Торгово-экономического института Сибирского федерального университета, г. Красноярск. E-mail: tim-da@mail.ru

**Sergachyova O.M.** – Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Chair of Technologies and Organizations of Public Catering, Trade and Economic Institute, Siberian Federal University, Krasnoyarsk. E-mail: oms01081973@gmail.com

**Batrayev M.D.** – Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Chair of Technology and Organization of Public Catering, Trade and Economic Institute, Siberian Federal University, Krasnoyarsk. E-mail: tim-da@mail.ru

**Timofeeva A.M.** – Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Chair of Technology and Organization of Public Catering, Trade and Economic Institute, Siberian Federal University, Krasnoyarsk. E-mail: tim-da@mail.