

УДК 664.8.037

Применение методов регулярного теплового режима для определения теплофизических характеристик пищевых продуктов

Канд. техн. наук **В.И. Филиппов**, valery98rus@mail.ru

Университет ИТМО

191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

Разработку технологий и оборудования новых наименований охлажденной и замороженной пищевой продукции невозможно осуществить без тепловых расчетов процессов холодильной обработки и данных их теплофизических характеристик (ТФХ) пищевых продуктов, к числу которых относятся удельная теплоемкость, коэффициенты теплопроводности и температуропроводности. Как правило, по разным причинам пополнение информации о ТФХ заметно отстает от темпов насыщения потребительского рынка новыми видами пищевой продукции. Это требует создания оперативных и эффективных методов и технических средств их экспериментального определения с учетом неоднородности состава и строения даже в пределах одного товарного наименования продукта, а также характера изменений при льдообразовании в них. Широкое распространение для определения ТФХ различных материалов получили методы регулярного теплового режима, которые ранее не применялись к замороженным продуктам. Проведенный анализ применимости методов регулярного теплового режима для определения ТФХ пищевых продуктов при льдообразовании и созданная на их основе экспериментальная установка показали, что выбор методов акалориметра и микрокалориметра для этих целей оправдан, а принятое техническое решение вполне надежно, поскольку обеспечивает необходимую для технических расчетов точность определения ТФХ такой продукции. Полученные экспериментальные данные ТФХ меланжа куриных яиц при температурах от 0 до $-42,5^{\circ}\text{C}$ удовлетворительно согласуются с данными других авторов.

Ключевые слова: пищевые продукты, удельная теплоемкость, коэффициент теплопроводности, коэффициент температуропроводности, регулярный тепловой режим, охлаждение, замораживание.

Application of methods of the regular thermal mode for definition of heatphysical characteristics of foodstuff

Ph.D., professor **Filippov V.I.**, valery98rus@mail.ru

ITMO University

191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9

Development of new chilled and frozen foodstuff technologies and equipment is impossible accomplished without thermal analysis of cooling treatment processes and food products thermophysical characteristics: specific thermal capacity, thermal conductivity coefficient, temperature conductivity coefficient. The information about thermophysical characteristics is not renovated and lagged behind pace satiety of consumer market with new species of foodstuff. It requires creation effective methods and facilities for its experimental determination with account of non-uniform composition and structure in one product. The regular thermal conditions got wide spread occurrence for determination of the different materials thermophysical characteristics. But these methods haven't been applied for frozen products yet. The analysis of applying of regular thermal conditions methods for determination of foodstuff thermophysical characteristics in ice-formation and created experimental installation showed that choice of acalorimeter and microcalorimeter methods lived up to the expectations. The engineering desicion is reliable because it supports thermophysical characteristics determination accuracy of these products. The received experimental data of egg mixture thermophysical characteristics between temperatures 0 and $-42,5^{\circ}\text{C}$ comport with data of other autors.

Keywords: foodstuff, specific thermal capacity, thermal conductivity coefficient, temperature conductivity coefficient, regular thermal regime, cooling, freezing.

В тепловые расчеты холодильной технологии, основанные на классических законах теплообмена, в качестве постоянных множителей входят теплофизические характеристики (ТФХ) пищевых продуктов, которые весьма изменчивы, т.к. зависят от химического состава, строения и термического состояния продукта. Основными ТФХ пищевых продуктов являются удельная теплоемкость C , коэффициенты теплопроводности λ , температуропроводности a и плотность γ [1]. В связи с постоянным пополнением потребительского рынка новыми наименованиями охлажденных и замороженных пищевых продуктов растительного и животного происхождения разработка технологии и оборудования для их производства не возможно без исчерпывающей информации о свойствах такой продукции, в том числе ТФХ. Отсутствие или использование ненадежных данных ТФХ продуктов затрудняет выполнение инженерных расчетов, влечет за собой при выполнении проектных работ к неточностям в оценке производительности технологического оборудования пищевых производств. Это в свою очередь, приводит к нарушению технологических параметров производственного процесса и дополнительным неоправданным затратам, в том числе сверхнормативным расходам электроэнергии, повышению себестоимости и снижению качества выпускаемой продукции.

При выполнении теплофизических расчетов тепловой и холодильной обработки пищевых продуктов пользуются как опытными, так и расчетными величинами ТФХ [2, 3]. Однако достоверность расчетных ТФХ всегда оценивается сопоставлением их с опытными данными. Поэтому экспериментальное определение ТФХ пищевых продуктов и установление закономерностей их изменения, особенно при льдообразовании, по-прежнему остается важным средством, обеспечивающим выполнение теплофизических расчетов процессов холодильной технологии продуктов питания.

Для экспериментального определения ТФХ различных материалов пользуются различными методами, в том числе основанными на законе регулярного теплового режима [4–23]. Основным требованием методов регулярного режима является соблюдение условий «простого» охлаждения, предусматривающих постоянство ТФХ тела, температуры окружающей среды, коэффициента теплоотдачи с поверхности тела к этой среде и отсутствие внутренних источников тепла в нем. До начала льдообразования в пищевых продуктах и по его окончании ТФХ продуктов практически не меняются. Поэтому определение их методами регулярного режима не вызывает затруднения. При льдообразовании с понижением температуры ТФХ продуктов меняются по сложному закону. Кроме того, фазовые превращения при кристаллизации воды сопровождаются появлением непрерывно действующего и не постоянного по мощности источника тепла. Представляется необходимым оценить, каким образом несоблюдение условий «простого» охлаждения повлияет на достоверность результатов экспериментального определения ТФХ пищевых продуктов методами регулярного теплового режима, и при каких условиях проведения эксперимента допустимая погрешность их определения не будет превышена.

Погрешность определения ТФХ методами регулярного режима зависит от различных факторов, важнейшими из которых являются величина температурного интервала, в котором они определяются, размеры охлаждаемого объекта и возможность поддержания постоянства режимных параметров охлаждающей среды. Так как при льдообразовании ТФХ пищевых продуктов меняются в зависимости от температуры, то экспериментальное определение сводится к осреднению их в узком интервале температур. Чем меньше температурный интервал, тем меньше отклонение средней величины ТФХ от крайних ее значений для данного интервала и меньше погрешность ее определения. При определении ТФХ методами регулярного режима обработка экспериментальных данных сводится к построению прямолинейного полулогарифмического графика охлаждения и вычислению величины темпа охлаждения m , который в выбранном температурном интервале не должен меняться. Поскольку ТФХ продуктов при льдообразовании меняются, то в этих условиях график изменения температуры во времени в них изображается в виде дуги неравномерной кривизны. При этом, чем меньше

температурный интервал определения, тем меньше изменяется m и тем меньше погрешность определения величин m и ТФХ исследуемого объекта. Однако уменьшение температурного интервала ограничивается необходимостью получения определенного количества экспериментальных данных, позволяющих по температурному графику процесса замораживания сделать заключение о правильности проведения опыта и достоверности его результатов.

При определении ТФХ в выбранном температурном интервале поддержание постоянства температуры охлаждающей среды зависит от размеров охлаждаемого объекта и разности температур этого объекта и охлаждающей среды. Чем меньше размеры охлаждаемого объекта, тем меньше период прохождения заданного температурного интервала, тем больше гарантия поддержания постоянства температуры охлаждающей среды. Вследствие неоднородности даже одноименных пищевых продуктов, связанной с их биологической природой происхождения, при выборе размеров исследуемого образца необходимо учитывать этот фактор. В противном случае полученные экспериментальные величины ТФХ не будут отражать характерные для исследуемого объекта отличительные особенности его состава и строения. Начальная разность температур объекта и охлаждающей среды должна быть, по возможности, ближе по величине к выбранному температурному интервалу. При большей разности температур возрастает неравномерность температурного поля объекта, что увеличит различие количества выделяемого тепла по объему тела и приведет к искажению результатов определения ТФХ. По-видимому для получения достоверных результатов определения ТФХ пищевых продуктов колебание температуры охлаждающей среды в экспериментальной установке не должно превышать 2–3%. В этом случае при определении ТФХ в температурном интервале равном 1°C колебание температуры охлаждающей среды в установке должно быть не более 0,02–0,03°C [5].

Для одного и того же температурного интервала погрешность определения ТФХ при льдообразовании будет больше для продуктов с большим содержанием влаги. На примере продукта с достаточно высоким содержанием влаги, каким является мясо говядины, можно оценить величину изменения его ТФХ в температурном интервале равном 1°C. Результаты вычисления удельной теплоемкости c , коэффициентов теплопроводности λ и температуропроводности a по расчетным формулам [2, 3] для мяса, содержащего 70% влаги, имеющего криоскопическую температуру -1°C и плотность 1020 кг/м^3 представлены в таблице 1.

Поскольку опытные данные ТФХ продуктов определяются как средние величины в выбранном температурном интервале, то максимальная погрешность их определения не превысит половины величины изменения ТФХ в этом интервал. Практическая пригодность экспериментальных данных ТФХ пищевых продуктов следует оценивать назначением, по которому они будут использованы. Ввиду неоднородности химического состава и строения пищевых продуктов даже в пределах одного товарного наименования, определение ТФХ их с высокой точностью утрачивает смысл. Погрешность их экспериментального определения равной 6–8% можно признать вполне допустимой для выполнения технических расчетов процессов тепловой и холодильной обработки продукции предприятий пищевой индустрии [24].

Таблица 1

Теплофизические характеристики мяса говядины

Температура, °С	Теплоемкость С, кДж/(кг*К)	Теплопроводность λ , Вт/(м* К)	Температуро- проводность $a \cdot 10^8$, м ² /с	Различие ТФХ, %		
				С	λ	а
-2	120,40	1,134	0,92	65,4	7,8	68,3
-3	41,63	1,230	2,90			
-4	21,86	1,286	5,77	36,2	1,5	37,5
-5	13,95	1,314	9,23			
-6	9,99	1,334	13,09	23,0	1,1	22,2
-7	7,69	1,348	17,19			
-8	6,23	1,358	21,37	14,8	0,6	15,3
-9	5,31	1,366	25,22			
-10	4,64	1,373	29,01	10,7	0,4	11,0
-11	4,15	1,379	32,58			
-12	3,79	1,384	35,80	7,6	0,4	8,0
-13	3,50	1,389	38,90			
-14	3,28	1,392	41,60	5,2	0,3	5,5
-15	3,11	1,396	44,00			
-16	2,94	1,398	46,62	3,7	0,3	4,0
-17	2,83	1,402	48,57			
-18	2,74	1,405	50,27	3,6	0,1	3,7
-19	2,64	1,406	52,21			
-20	2,58	1,407	53,47	1,2	0,1	1,2
-21	2,55	1,408	54,13			

Из таблицы 1 видно, что результаты определения теплопроводности в интервале 1°С для мяса и продуктов со сходными свойствами для температур –2°С и ниже вполне пригодны для использования в технических расчетах процессов холодильной технологии пищевых продуктов. Для теплоемкости и температуропроводности эта температурная область находится ниже –8°С. Для получения данных этих ТФХ при температурах выше –8°С с погрешностью, не превышающей допустимых пределов, температурный интервал их определения необходимо уменьшить до 0,4–0,5°С.

При определении ТФХ методами регулярного режима немаловажное значение имеет выбор размеров охлаждаемого объекта (калориметра), обеспечивающих соблюдение граничных условий метода.

Для определения температуропроводности методом акалориметра должны соблюдаться граничные условия 1 рода, т.е. коэффициент теплоотдачи $\alpha = \infty$, причем $m = m_{\infty}$. Однако в каждом конкретном случае α – величина конечная. Для определения оптимальных размеров калориметра можно воспользоваться данными зависимости критерия темпа охлаждения M и видоизмененного критерия Био N , величины которых табулированы [4, 23]. Максимальная величина α определяется по максимально возможной в опыте величине коэффициента теплопроводности тела λ из соотношения:

$$\alpha = \lambda N / L. \quad (1)$$

Условный линейный размер L находится из соотношения, связывающего коэффициент формы K , площадь поверхности S и объем тела V .

$$L = KS / V.$$

Для цилиндрического калориметра радиусом r и высотой h найдено

$$L = \frac{r+h}{2,89h/r+4,935r/h}. \quad (2)$$

Погрешность определения m задается величиной критерия темпа охлаждения – $M = m/m_{\infty}$. По заданной величине M из таблицы находится величина N [4, 23].

По формулам (1) и (2) найдено, что при коэффициенте теплопроводности равном $2 \text{ Вт}/(\text{м}^*\text{К})$ (теплопроводность замороженных пищевых продуктов не превышает указанной величины) и погрешности определения темпа охлаждения $2,8\text{--}3,5\%$ ($M = 0,972 - 0,965$), реально воспроизводимый в опыте $\alpha = 3500 - 4200 \text{ Вт}/(\text{м}^2*\text{К})$ можно получить при линейных размерах калориметра $r = 0,03 \text{ м}$ и $h = 0,1 \text{ м}$. Для пищевых продуктов, теплопроводность которых будет меньше $2 \text{ Вт}/(\text{м}^*\text{К})$, допускается меньший по величине α , или при той же величине α погрешность определения m уменьшится. Для основного ассортимента пищевых продуктов при температурах выше минус 40°C величина теплопроводности не превышает $1,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2*\text{К})$ и соответственно этому погрешность экспериментального определения теплопроводности их в указанном температурном диапазоне методом акалориметра не превысит 3% .

По методу микрокалориметра теплоемкость определяется при малых размерах тела и малых α , т.е. при охлаждении без циркуляции воздуха, в этих условиях критерий неравномерности температурного поля тела ψ по величине близок к 1. В этом случае мерой погрешности определения теплоемкости является различие величины ψ , создаваемой в теле в процессе охлаждения калориметра с пищевым продуктом, и величины ψ равной 1. Численное значение критерия ψ для калориметра с внутренним радиусом цилиндра r находится из соотношения [4, 23]:

$$\psi = 1 - mr^2/8\alpha. \quad (3)$$

Введя величину отношения размеров калориметра $h/2r = 3$ и заменив в формуле (3) $m = \alpha S\psi/c\gamma V$; $a = \lambda/\gamma c$ [6], приведем ее к виду, удобному для вычислений:

$$\psi = 24\lambda: [24\lambda + \alpha(h + r)]. \quad (4)$$

Из формулы (5) видно, что наибольшая погрешность определения C будет при наименьшей величине λ . Для основного ассортимента пищевых продуктов λ больше $0,35 \text{ Вт}/(\text{м}^*\text{К})$. В этом случае при величине α в камере воздушного охлаждения микрокалориметра $3,5\text{--}4,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2*\text{К})$, $h = 0,06 \text{ м}$ и $r = 0,01 \text{ м}$ погрешность определения теплоемкости не превысит $2,8\text{--}3,8\%$.

На основе результатов проведенного анализа методов регулярного режима создана экспериментальная установка для определения ТФХ пищевых продуктов в диапазоне температур от $+10$ до -50°C , включающая калориметры, холодильную термостатирующую и термометрическую системы. Принципиальная схема установки представлена на рисунке.

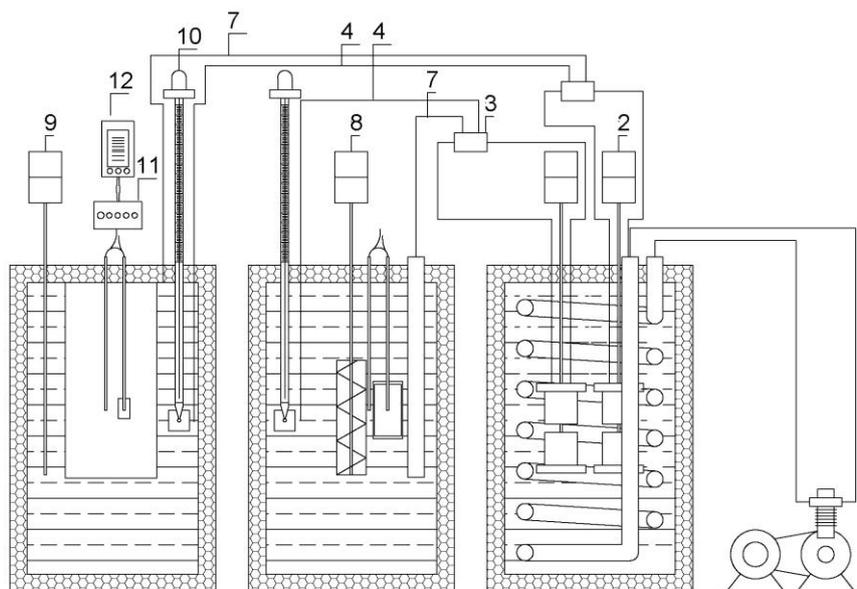


Рисунок – Схема установки для определения ТФХ пищевых продуктов

В генераторе 1 рабочая жидкость охлаждается с помощью змеевикового испарителя и низкотемпературной холодильной установки, после чего жидкостными насосами 2 через реле протока жидкости 3 и нагнетательные патрубки 4 она направляется в термостат 5 акалориметра и межстенное пространство камеры охлаждения 6 микрокалориметра. Возврат жидкости из емкостей 5 и 6 в генератор для охлаждения осуществляется соответствующими насосами 2 через всасывающие патрубки 7 и реле потока жидкости. Предусмотренная конструкцией большая производительность насоса по всасыванию, чем по нагнетанию, обеспечивает поддержание постоянного уровня охлаждающей жидкости в термостате 5 и пространстве между наружной и внутренней стенками камеры охлаждения 6.

В термостате жидкость интенсивно перемешивается шнековой мешалкой 8, внутренний диаметр которой 53 мм, шаг витков 40 мм и скорость вращения 5500 об/мин, соответственно в пространстве между стенками камеры охлаждения – двухлопастной мешалкой 9 со скоростью 300 об/мин. Система автоматического регулирования температуры охлаждающей жидкости в установке с точностью не менее $0,03^{\circ}\text{C}$ работает по принципу порционной подачи жидкости из генератора в термостат 5 и камеру 6, что осуществляется соответствующими контактными термометрами 10 и реле протока жидкости. Температурный диапазон регулирования от $+20$ до -58°C .

В экспериментальной установке внутренний диаметр медного акалориметра принят равным 60 мм и высота – 100 мм. Внутренний и наружный диаметры медного микрокалориметра соответственно равны 17 и 20 мм, высота – 60 мм, внешняя поверхность его хромирована. В процессе охлаждения разность температур продукта в калориметрах и охлаждающей среды регистрируется дифференциальной хромель-копелевой термопарой и помехоустойчивым микровольтметром постоянного тока 11 марки ПМПТ-1, показания которого записываются потенциометром 12 марки КСП-4. Погрешность измерения температуры не превышает $0,01^{\circ}\text{C}$. Температура охлаждающей жидкости и воздуха в установке контролируется электронными термометрами и потенциометром.

Полученные с помощью экспериментальной установки результаты определения в интервале температур $0,5$ – $1,0^{\circ}\text{C}$ величин удельной теплоемкости, коэффициентов теплопроводности и температуропроводности при температурах от 0 до $-42,5^{\circ}\text{C}$ меланжа куриных яиц, содержащего 72,5% влаги и имевшего криоскопическую температуру, равную $-0,62^{\circ}\text{C}$, представлены в табл. 2 и удовлетворительно согласуются с данными других авторов [25].

Таблица 2

Теплофизические характеристики меланжа куриных яиц

Температура, °С	Удельная теплоемкость, кДж/(кг*К)	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м*К)	Коэффициент температуропроводности, $10^8 \text{ м}^2/\text{с}$
0,0	3,52	0,390	11,4
-2,0	33,60	0,839	2,50
-3,0	16,22	0,950	5,90
-4,0	10,30	1,048	10,0
-5,0	7,52	1,059	14,25
-6,0	5,86	1,064	18,06
-7,0	4,81	1,069	22,56
-8,0	4,15	1,110	27,22
-9,0	3,76	1,132	30,64
-10,0	3,43	1,140	33,89
-20,0	2,16	1,148	52,50
-30,0	1,89	1,197	64,33
-40,0	1,79	1,247	71,00
-42,5	1,78	1,267	71,95

Проверка работоспособности установки показала, что выбор методов регулярного теплового режима (акалориметра и микрокалориметра) для определения ТФХ пищевых продуктов, том числе при льдообразовании в них, вполне оправдан, а предложенное техническое решение их достаточно надежно.

Литература

1. Холодильная технология пищевых продуктов: Учебник для вузов: в 3 кн. / Куцакова В.Е., Фролов С.В., Филиппов В.И., Данин В.Б. – СПб.: ГИОРД, 2007. – 224 с.
2. Примеры и задачи по холодильной технологии пищевых продуктов. Теплофизические основы / А.В. Бараненко, В.Е. Куцакова, Е.И. Борзенко, С.В. Фролов. – СПб.: ГИОРД, 2012. – 269 с.
3. Примеры и задачи по холодильной технологии пищевых продуктов. Теоретические основы консервирования: Учебное пособие/В.Е. Куцакова, И.А. Рогов, С.В. Фролов, В.И. Филиппов. – СПб.: ГИОРД, 2008. – 160 с.
4. Платунов Е.С., Баранов И.В., Буравой С.Е., Курепин В.В. Теплофизические измерения: учеб. пособие. СПб.: СПбГУНиПТ, 2010. 738 с.
5. Баранов И.В. и др. Определение теплофизических характеристик пищевых продуктов // Вестник Международной академии холода. 2001. №1. С. 19-23.
6. Баранов И.В. К вопросу комплексного измерения теплофизических свойств неметаллических материалов: Сб. трудов. Т.2. - СПб.: СПбГУНиПТ, 2003. – С. 273-279.
7. Баранов И.В., Никитин А.А. Комплексное измерение теплофизических свойств в условиях монотонного разогрева // Известия СПбГУНиПТ. 2006. №1. С. 62-63.
8. Баранов И.В., Никитин А.А. Комплексное измерение теплофизических характеристик материалов при замораживании и размораживании.
9. Баранов И.В., Платунов А.Е., Платунов Е.С. Комплекс автоматизированных приборов для измерения тепловых свойств // Научное приборостроение. 2003. Т. 13. С. 19-24.
10. Баранов И.В., Прошкин С.С. Измерение теплофизических веществ и материалов в области агрегатных и структурных превращений // Вестник Международной академии холода. 2003. № 4. С. 31-34.
11. Платунов Е.С., Баранов И.В., Куслиева Е.В., Сергеев С.В. Метод определения теплофизических Свойств влагосодержащих материалов в условиях замораживания и размораживания // Известия СПбГУНиПТ. 2008. №4. С. 7-10.

12. Платунов Е.С., Баранов И.В., Куслиева Е.В. Автоматизированный прибор для измерений теплофизических характеристик влагосодержащих материалов // Вестник Международной академии холода. 2009. № 3. С. 36-40.
13. Пономарев С.В., Мищенко С.В., Дивин А.Г. Теоретические и практические аспекты теплофизических измерений: Кн. 1. – Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2006. – 204 с.
14. Пономарев С.В., Мищенко С.В., Дивин А.Г. Теоретические и практические аспекты теплофизических измерений: Кн. 2. – Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2006. – 216 с.
15. Платунов Е.С., Баранов И.В., Куслиева Е.В., Сергеев С.В. Прибор для комплексного исследования теплофизических свойств влагосодержащих материалов // Известия СПбГУНиПТ. 2009. №1. С. 143-146.
16. Короткий И.А., Короткая Е.В. Применение метода двух температурно-временных интервалов для определения теплофизических характеристик пищевых продуктов и материалов // Известия вузов. Пищевая технология. – 2008, № 2-3. С. 109-111.
17. Исаков Р.М. Исследование теплофизических характеристик сырья мясокостной муки. // Научный журнал «Пищевая технология и сервис» - Алматы, 2004, №1. – С.56-57.
18. Бойко Б.Н., Мальцев Р.В., Огородникова С.Ю., Соломина З.Ф. Дифференциальный микрокалориметр для исследования процессов метаболизма в живых структурах и его применение в физиологии растений // Научное приборостроение. 2009, Т:19, №1. С.45-49.
19. Балабанов П.В., Пономарев С.О. Применение теории метода двух альф для исследования теплофизических характеристик регенеративных продуктов и химических поглотителей // Измерительная техника. 2010. – №11. – с.47-49.
20. Гуров А.В. Выбор оптимальных условий измерения теплофизических свойств веществ методом плоского «мгновенного» источника тепла. -2012.-№10.- С.47-49.
21. Кондратьев Г.М., Дульнев Г.Н., Платунов Е.С., Ярышев Н.А. Прикладная физика: теплообмен в приборостроении. – СПб: СПбГУИТМО, 2003.-560 с.
22. Филиппов В.И. Рациональная точность определения теплофизических характеристик пищевых продуктов в расчетах технологических параметров холодильной обработки // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты Пищевых производств. – 2015, №2. – С.10.
23. Гинзбург А.С., Громов М.А., Красовская Г.И. Теплофизические характеристики пищевых продуктов: Справочник. – М.: Агропромиздат, 1990. – 287 с.

References

1. V.E. Kutsakova, S.V. Frolov, V.I. Filippov, V.B. Danin. *Kholodil'naya tekhnologiya pishchevykh produktov: Uchebnyk dlya vuzov v 3 kn.* SPb.: GIORD, 2007. 224 p.
2. A.V. Baranenko, V.E. Kutsakova, E.I. Borzenko, S.V. Frolov *Primery i zadachi po kholodil'noi tekhnologii pishchevykh produktov: Teplofizicheskie osnovy.* SPb.: GIORD, 2012. 269 p.
3. *Primery i zadachi po kholodil'noi tekhnologii pishchevykh produktov. Teoreticheskie osnovy konservirovaniya: Uchebnoe posobie/V.E. Kutsakova, I.A. Rogov, S.V. Frolov, V.I. Filippov.* – SPb.: GIORD, 2008, 160 p.
4. Platonov E.S., Baranov I.V., Buravoi S.E., Kurepin V.V. *Teplofizicheskie izmereniya: Ucheb. Posobie.* SPb.: SPbGUNIPT, 2010, 738 p.
5. Baranov I.V. i dr. *Opreделение teplofizicheskikh kharakteristik pishchevykh produktov. Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda.* 2001. no.1. pp. 19-23.
6. Baranov I.V. *K voprosu kompleksnogo izmereniya teplofizicheskikh svoystv nemetallicheskih materialov: Sb. trudov. V.2.* SPb.: SPbGUNIPT, 2003. – pp. 273-279.
7. Baranov I.V., Nikitin A.A. *Kompleksnoe izmerenie teplofizicheskikh svoystv v usloviyakh monotonogo razogreva. Izvestiya SPbGUNIPT.* 2006, no. 1. pp. 62-63.
8. Baranov I.V., Nikitin A.A. *Kompleksnoe izmerenie teplofizicheskikh kharakteristik materialov pri zamorazhivanii i razmorazhivanii.*
9. Baranov I.V., Platonov A.E., Platonov E.S. *Kompleks avtomatizirovannykh priborov dlya izmereniya teplovykh svoystv. Nauchnoe priborostroenie.* 2003. V. 13. pp. 19-24.
10. Baranov I.V., Proshkin S.S. *Izmerenie teplofizicheskikh veshchestv i materialov v oblasti agregatnykh i strukturnykh prevrashchenii. Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda.* 2003, no. 4, pp. 31-34.

11. Platunov E.S., Baranov I.V., Kuslieva E.V., Sergeev S.V. Metod opredeleniya teplofizicheskikh Svoistv vlagosoderzhashchikh materialov v usloviyakh zamorazhivaniya i razmorazhivaniya. *Izvestiya SPbGUNIPT*. 2008, no. 4. pp. 7-10.
12. Platunov E.S., Baranov I.V., Kuslieva E.V. Avtomatizirovannyi pribor dlya izmerenii teplofizicheskikh kharakteristik vlagosoderzhashchikh materialov. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2009, no. 3, pp. 36-40.
13. Ponomarev S.V., Mishchenko S.V., Divin A.G. *Teoreticheskie i prakticheskie aspekty teplofizicheskikh izmerenii*: Kn. 1. Tambov: Izd-vo TGTU, 2006. 204 p.
14. Ponomarev S.V., Mishchenko S.V., Divin A.G. *Teoreticheskie i prakticheskie aspekty teplofizicheskikh izmerenii*: Kn. 2. – Tambov: Izd-vo TGTU, 2006. 216 p.
15. Platunov E.S., Baranov I.V., Kuslieva E.V., Sergeev S.V. Pribor dlya kompleksnogo issledovaniya teplofizicheskikh svoistv vlagosoderzhashchikh materialov. *Izvestiya SPbGUNIPT*. 2009. №1. pp. 143-146.
16. Korotkii I.A., Korotkaya E.V. Primenenie metoda dvukh temperaturno-vremennykh intervalov dlya opredeleniya teplofizicheskikh kharakteristik pishchevykh produktov i materialov. *Izvestiya vuzov. Pishhevaya tekhnologiya*. 2008, № 2-3, pp. 109-111.
17. Isakov R.M. Issledovanie teplofizicheskikh kharakteristik syr'ya myasokostnoi muki. *Nauchnyi zhurnal «Pishhevaya tekhnologiya i servis»*. Almaty, 2004, №1, pp. 56-57.
18. Boiko B.N., Mal'tsev R.V., Ogorodnikova S.Yu., Solomina Z.F. Differentsial'nyi mikrokalorimetr dlya issledovaniya protsessov metabolizma v zhivykh strukturakh i ego primeneniye v fiziologii rastenii. *Nauchnoe priborostroeniye*. 2009, V.19, №1, pp. 45-49.
19. Balabanov P.V., Ponomarev S.O. Primeneniye teorii metoda dvukh al'f dlya issledovaniya teplofizicheskikh kharakteristik regenerativnykh produktov i khimicheskikh poglotitelei. *Izmeritel'naya tekhnika*. 2010. №11. pp. 47-49.
20. Gurov A.V. *Vybor optimal'nykh uslovii izmereniya teplofizicheskikh svoistv veshchestv metodom ploskogo «mgnovennogo» istochnika tepla*. 2012, №10, pp. 47-49.
21. Kondrat'ev G.M., Dul'nev G.N., Platunov E.S., Yaryshev N.A. *Prikladnaya fizika: teploobmen v priborostroenii*. SPB: SPBGUITMO, 2003, 560 p.
22. Filippov V.I. Ratsional'naya tochnost' opredeleniya teplofizicheskikh kharakteristik pishchevykh produktov v raschetakh tekhnologicheskikh parametrov kholodil'noi obrabotki. *Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya: Protsessy i apparaty Pishchevykh proizvodstv*. 2015, №2, pp. 10.
23. Ginzburg A.S., Gromov M.A., Krasovskaya G.I. *Teplofizicheskie kharakteristiki pishchevykh produktov: Spravochnik*. M.: Agropromizdat, 1990, 287 p.

Статья поступила в редакцию 04.06.2015 г.