



DOI 10.22363/2312-8143-2022-23-4-293-301
УДК 536.2


Научная статья / Research article

Исследование теплофизических характеристик органической эмульсии

Д.Я. Баринов^{a,b}  , С.Ю. Шорстов^a 

^aВсероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов НИЦ «Курчатовский институт»,
Москва, Российская Федерация

^bМосковский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет),
Москва, Российская Федерация

 rasmal@mail.ru

История статьи

Поступила в редакцию: 30 июля 2022 г.

Доработана: 27 октября 2022 г.

Принята к публикации: 30 октября 2022 г.

Ключевые слова:

теплопроводность, теплоемкость,
фазовый переход, стационарный метод

Аннотация. Для подбора нагревательного и холодильного оборудования, а также оптимизации компонентов производственной линии, предназначенной для переработки мясных полуфабрикатов, требуется детальная информация о зависимостях основных характеристик выпускаемой продукции. К таким характеристикам относятся физико-механические, теплофизические, технологические и мн. др. В исследовании приводятся методические основы измерений, подходы к подготовке образцов и результаты экспериментального изучения теплопроводности и удельной теплоемкости органической эмульсии. Проанализированы методы и лабораторное оборудование для проведения измерений с учетом объекта исследований. Особенностью изучаемого образца является переменный фракционный состав, а также наличие жидкой фазы в виде воды. Это приводит к невозможности использовать стандартные серийно выпускаемые оправки для образцов. Для исследования характеристик органической эмульсии выбраны метод стационарного теплового потока и метод дифференциальной сканирующей калориметрии. В результате установлен характер измерения удельной теплоемкости и теплопроводности в диапазоне температур от -5 до 90 °С. Удельная теплоемкость образца изменяется от 2800 до 4410 Дж/(кг·К), при этом наблюдался фазовый переход кристаллизации/плавления водяной фазы. Для его исключения использовался метод аппроксимации. Значения теплопроводности изменяются от 0,28 до 0,49 Вт/(м·К).

Для цитирования

Баринов Д.Я., Шорстов С.Ю. Исследование теплофизических характеристик органической эмульсии // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2022. Т. 23. № 4. С. 293–301. <http://doi.org/10.22363/2312-8143-2022-23-4-293-301>




Investigation of thermophysical characteristics of organic emulsion

Dmitry Ya. Barinov^{a,b} , Sergey Yu. Shorstov^a 

^aAll-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials of the National Research Center “Kurchatov Institute”,
Moscow, Russian Federation

^bBauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

 rasmal@mail.ru

Article history

Received: July 30, 2022

Revised: October 27, 2022

Accepted: October 30, 2022

Keywords:

thermal conductivity, heat capacity, thermophysical properties, phase transition, stationary method

Abstract. For the selection of heating and refrigeration equipment, as well as the optimization of the components of the production line intended for the processing of meat semi-finished products, detailed information on the dependencies of the main characteristics of the products is required. Such characteristics include physico-mechanical, thermophysical, technological and many others. The authors present the methodological foundations of measurements, approaches to sample preparation and the results of an experimental study of the thermal conductivity and specific heat capacity of an organic emulsion. The analysis of methods and laboratory equipment for measurements taking into account the object of research was carried out. The peculiarity of the sample under study is the variable fractional composition, as well as the presence of a liquid phase in the form of water. This makes it impossible to use standard commercially available mandrels for samples. To study the characteristics of the organic emulsion, the method of stationary heat flow and the method of differential scanning calorimetry were chosen. As a result of the research, the nature of the measurement of specific heat capacity and thermal conductivity in the temperature range from -5 to 90 °C. The specific heat capacity of the sample varies from 2800 to 4410 J/(kg·K), while a phase transition of crystallization/melting of the water phase was observed. The approximation method was used to exclude it. The values of thermal conductivity vary from $0,28$ to $0,49$ W/(m·K).

For citation

Barinov DYa, Shorstov SYu. Investigation of thermophysical characteristics of organic emulsion. *RUDN Journal of Engineering Research*. 2022;23(4):293–301. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2312-8143-2022-23-4-293-301>

Введение

Одной из основных проблем пищевой промышленности является выбор материалов для проектирования систем производственной линии и подбор характеристик их компонентов, обеспечивающих необходимые температурные условия при производстве пищевых полуфабрикатов.

Современная производственная линия является сложным техническим устройством, для изготовления деталей и узлов которой применяется множество материалов. В настоящее время отечественными предприятиями выпускаются различные виды конструкционных сталей и сплавов на основе титана и алюминия¹. Многие из них

могут использоваться при изготовлении элементов производственных линий. На поверхность металлов для их защиты могут наноситься различные покрытия, такие как антиокислительные, теплозащитные, износостойкие и мн. др. [1; 2]. Пока не существует единого универсального правила, в соответствии с которым имеется возможность подобрать характеристики систем для решения конкретных практических задач, таких как переработка, измельчение, смешивание, приготовление, упаковка и т. д. при заданных температурно-временных условиях. К таким неизвестным параметрам компонентов следует отнести

тами и средами. Минлгпищемаш, 1982; СП 2.3.3.-001-98. Санитарные правила по выпуску, реализации, использованию материалов, изделий из полимерных и других синтетических материалов, предназначенных для контакта с пищевыми продуктами. СПб., 1998.

¹ РТМ 27-72-15–82. Машины и оборудование продовольственные. Порядок применения металлов, синтетических и других материалов, контактирующих с пищевыми продук-

мощности нагревателей и холодильников, производительность перекачивающих хладагент насосов, размеры лент транспортеров, частоты вращения редукторов и шнеков, объемы бункеров для хранения исходного сырья и готовой продукции и др. [3; 4].

Подбор характеристик компонентов систем невозможен без наличия комплексной информации о различных характеристиках полуфабрикатов, с которыми предполагается работать. Среди них стоит выделить механические, теплофизические, вязкостные и прочие, причем и в исходном состоянии полуфабриката, и после переработки. Стоит отметить, что большинство продуктов пищевой промышленности содержит в себе водяную фазу в том или ином виде, поэтому характеристики необходимо изучать как при нормальных и повышенных температурах, так и в замороженном виде. В настоящее время для производства кормов для животных перспективным является применение мясной эмульсии, изготовленной путем измельчения до пастообразного состояния различных видов мяса. От того, насколько оптимально подобраны компоненты производственной линии, зависят стоимость и продолжительность технологического процесса при производстве полуфабрикатов, а также стоимость конечного продукта для потребителя.

В случае оптимизации нагревательного и холодильного оборудования наиболее важными характеристиками исследуемого объекта являются теплофизические: теплоемкость и теплопроводность. В [5] приводятся результаты измерений различных видов мясных полуфабрикатов, в том числе широкого ассортимента фаршей. Экспериментальные данные, как правило, приводятся в диапазоне температур от 20 до 80 °С, что зачастую не охватывает весь интерес технологов. Так, подбор холодильного оборудования требует набора знаний о фазовом переходе кристаллизации жидкости, которая входит в состав полуфабриката. Результаты экспериментальных исследований теплофизических характеристик приводятся в [6–10].

Подбор компонентов оборудования производится на основе знаний о характеристиках объекта производства, материалов производственной линии и внешних условий. Нередко для подбора привлекают расчетные методы, в том числе методы математического моделирования [11–14]. Такие подходы позволяют спрогнозировать пове-

дение исследуемого объекта без построения сложного, трудоемкого и порой дорогостоящего технологического процесса. В результате определяются распределения механических нагрузок, температурных полей, на основе которых определяются прочностные характеристики и производственные мощности элементов оборудования, параметры цеха (мощности электрических, тепловых и водопроводных сетей и т. д.) Так, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ располагает обширным лабораторным комплексом для проведения расчетно-экспериментальных исследований характеристик широкого спектра материалов в значительном температурном диапазоне [15].

Цель исследования – изучение теплопроводности и теплоемкости органической эмульсии для подбора характеристик компонентов нагревательного и холодильного оборудования производственной линии.

1. Материалы и методы

Объект исследования – органическая эмульсия, представляющая собой мелко измельченное до пастообразного состояния и перемешанное мясо свинины и говядины. С помощью экспериментальных методов изучались теплопроводность и теплоемкость. Объект исследований поставлялся в виде замороженного брикета неопределенной формы массой ~5 кг.

Для измерения теплопроводности был проведен анализ двух методов: импульсного метода и метода стационарного теплового потока. Импульсный метод позволяет исследовать образцы практически любых материалов в широком диапазоне температур (серийное оборудование позволяет измерять при температурах от –150 до 2800 °С) на сравнительно малых образцах (характерный размер образца 10–15 мм), при этом время измерений одного образца во всем температурном диапазоне не превышает восьмичасовой рабочий день². Суть метода состоит в облучении лицевой поверхности образца кратковременным импульсом лазера и регистрации изменения температуры на его тыльной стороне. При проведении измерений делается ряд допущений, а при обработке полученной зависимости ис-

² ГОСТ Р 57943–2017. Пластмассы. Определение теплопроводности и температуропроводности. Ч. 4. Метод лазерной вспышки. М.: Стандартинформ, 2017. 11 с.; ASTM E 1461-01. Standard test method for thermal diffusivity by the flash method. ASTM committee E37, 2001. 13 p.

пользуются несколько математических моделей. Мясная эмульсия представляет собой мелко измельченную кашицеобразную массу, поэтому измерить образец напрямую не представляется возможным. Однако существует ряд оправок, приспособлений и методов для проведения исследований жидких образцов: расплавов, жидкостей, смол. Для обработки результатов в этом случае необходимо привлекать специальное программное обеспечение, в котором по известным характеристикам материала оправки вычисляется неизвестная теплопроводность исследуемого материала. Такой подход успешно применяется при исследовании теплопроводности и температуропроводности образцов в жидкой фазе, например смол и связующих [16; 17]. Тем не менее стоит отметить, что мясная эмульсия не является однородной жидкой фазой, в ней присутствуют достаточно крупные включения, от содержания и распределения которых будет зависеть изучаемая характеристика. Для решения этой проблемы могут быть использованы нестандартные оправки, в которых толщина образца будет увеличена до 5–7 мм, но в этом случае получаемый сигнал при измерении будет сильно зашумлен, что значительно увеличивает разброс значений и погрешность измерений.

Альтернативным методом измерения теплопроводности является метод стационарного теплового потока³. Его суть в создании стационарного одномерного теплового потока в образце, установленном между нагревателем и холодильником. По результатам определения тепловых потоков при заданной разности температуры нагревателя и холодильника, а также толщины образца определяется теплопроводность. Серийное оборудование обеспечивает температурный диапазон измерений от –160 до 600 °С, при этом используются образцы в виде плит толщиной 10–50 мм и характерным размером 150–300 мм. Большой размер образцов усредняет влияние неоднородности включений по объему образца, а объект исследований не требует измерений при температурах, выходящих за рамки возможностей оборудования. К недостаткам метода стоит отнести длительность измерений. Так, в зависимости от ожидаемых характеристик материала время из-

мерения при одной температуре может достигать 6–8 часов. Исходя из вышесказанного для проведения измерений теплопроводности мясной эмульсии был выбран метод стационарного теплового потока.

Перед проведением измерения необходимо провести подготовку образца. В связи с тем, что полуфабрикат в исходном виде представлял собой замороженный брикет неопределенной формы, напрямую провести его исследование не представляется возможным. Для получения образца с требуемыми геометрическими характеристиками полуфабрикат оттаивался в течение 24 часов, после чего его часть была помещена в полиэтиленовый пакет. В результате механического воздействия плит прибора произошло перераспределение мясной эмульсии, при этом образец стал представлять собой диск толщиной ~20 мм и диаметром ~200 мм.

Измерение теплопроводности проводилось стационарным методом на приборе НFM436 фирмы Netzsch. Этот прибор выпускается серийно и позволяет проводить измерения в диапазоне температур от –20 до 70 °С. Прибор включает управляемые с помощью персонального компьютера нагреватель и холодильник, обеспечивающие установление стационарного теплового потока через образец, при этом испытания проводятся в автоматическом режиме. Привод холодильника с встроенным измерителем толщины обеспечивает оптимальное поджатие образца и измерение еще и его толщины. Перед испытаниями необходимо провести процедуру калибровки тепломеров (датчиков теплового потока) нагревателя и холодильника по результатам измерения эталонного образца. Теплопроводность исследуемого образца рассчитывается на основе закона Фурье по зависимости⁴

$$q = -\lambda \frac{\Delta T}{\Delta x},$$

где q – тепловой поток через образец, Вт/м²; λ – теплопроводность образца, Вт/(м·К); ΔT – разность температур между верхней и нижней поверхностями образца, К; Δx – толщина образца, м.

Измерение теплоемкости материалов в жидком состоянии не всегда является типичной зада-

³ ГОСТ 7076–99. Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме. М.: Издательство стандартов, 2000. 22 с.

⁴ Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача: учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоиздат, 1981. 416 с.

чей и часто требует дополнительного методического анализа и нестандартной подготовки образцов. Для проведения измерений теплоемкости в настоящей работе был выбран метод дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК)⁵. Данный метод позволяет производить измерения теплоемкости большого спектра принципиально различных материалов в широком диапазоне температур (от –150 до 1600 °С). В сравнении с другими способами определения теплоемкости, представленными серийно выпускаемым оборудованием (методы смешения, лазерной вспышки и адиабатический), преимущество метода дифференциальной сканирующей калориметрии заключается в возможности проведения высокоточных измерений теплоемкости образцов в жидком состоянии с использованием специализированных тиглей, предотвращающих процессы испарения материала во время нагрева. Таким образом, этот способ измерения позволяет избежать сложной и трудоемкой подготовки образцов для исследований и использования дополнительных приспособлений в процессе измерения. Помимо прочего, на исследуемом интервале температур (от –20 до 95 °С) метод ДСК, в сравнении с вышеупомянутыми способами определения теплоемкости, позволяет произвести эксперимент с наименьшей ошибкой измерения. Это реализуется за счет конструкции прибора, а для работы при низких температурах используется дополнительный блок для автоматизированной подачи жидкого азота.

В основе метода ДСК лежит регистрация разности температур между исследуемым образцом и эталоном в процессе нагрева или охлаждения и последующее определение теплового потока – производной теплоты по времени.

$$\Phi(\Delta T) = T(x_2) - T(x_1) = f(x),$$

где Φ – тепловой поток, Вт; ΔT – разность температур исследуемого образца и эталона, К; x_1, x_2 – две точки измерительной системы (контактные площадки для эталона и образца); $f(x)$ – некоторая функциональная зависимость от координат.

Для проведения эксперимента образец и эталон помещаются в тигли, симметрично расположенные в измерительной ячейке, и производится программируемый нагрев с заданной скоростью

(рис. 1). При этом в измерительной ячейке обеспечиваются максимально возможные условия для равномерного нагрева обеих тиглей (образца и эталона). Тогда при протекании в исследуемом материале процессов с изменением энтальпии (превращения с выделением или поглощением тепла) будет зарегистрирована разница температур между образцом и эталоном.

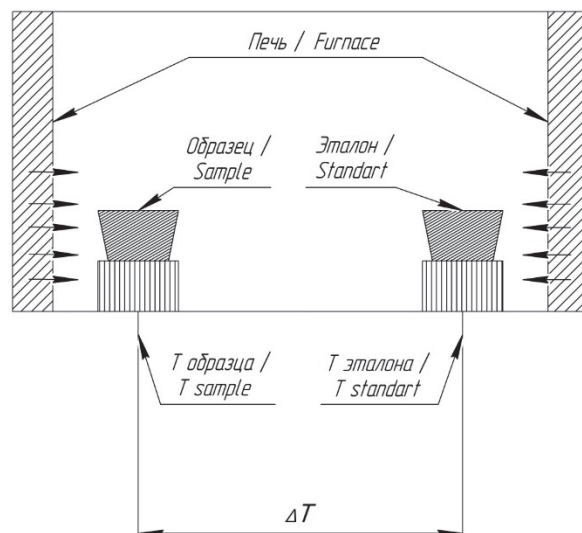


Рис. 1. Схема измерительной ячейки дифференциального сканирующего калориметра
Figure 1. The diagram of the measuring cell of the differential scanning calorimeter

Измерение удельной теплоемкости методом ДСК выполняется с использованием эталонного образца сравнения с известной теплоемкостью и осуществляется в несколько этапов:

- калибровочный нагрев пустых тиглей для регистрации ДСК сигнала базовой линии;
- нагрев образца и пустого тигля для регистрации ДСК сигнала исследуемого материала;
- нагрев эталонного образца сравнения и пустого тигля для регистрации ДСК сигнала эталонного материала.

Дальнейший расчет удельной теплоемкости из экспериментального сигнала ДСК определяется следующим соотношением:

$$C_{\text{обр}} = \frac{\text{ДСК}_{\text{обр}} - \text{ДСК}_{\text{баз}}}{\text{ДСК}_{\text{эт}} - \text{ДСК}_{\text{баз}}} \cdot \frac{m_{\text{эт}}}{m_{\text{обр}}} C_{\text{эт}},$$

где $\text{ДСК}_{\text{обр}}$ – экспериментальный сигнал измерения образца, мВт/мг; $\text{ДСК}_{\text{эт}}$ – экспериментальный сигнал измерения эталонного образца сравнения, мВт/мг; $\text{ДСК}_{\text{баз}}$ – экспериментальный

⁵ ГОСТ Р 56754. Пластмассы. Дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК). Ч. 4. Определение удельной теплоемкости. М.: Стандартинформ, 2016. 14 с.

сигнал измерения пустых тиглей (базовая линия), мВт/мг; $m_{обр}$ – масса образца, мг; $m_{эт}$ – масса эталонного образца сравнения, мг; $C_{эт}$ – удельная теплоемкость эталонного образца сравнения, Дж/(мг·К).

В данной работе измерения теплоемкости мясной эмульсии проводились на дифференциальном сканирующем калориметре DSC 204 F1 фирмы Netzsch. Нагрев образцов производился со скоростью 5 К/мин в динамической среде аргона в диапазоне температур от -5 до 95 °С. Измерения проводились в алюминиевых тиглях с использованием уплотненного корундового порошка на дне для улучшения контакта и предотвращения загрязнений. При всех измерениях используется одинаковое количество порошка, которое учитывалось коррекцией базовой линии. В качестве калибровочного образца для определения теплоемкости использовался сапфир.

2. Результаты и обсуждение

Теплопроводность мясной эмульсии измерялась стационарным методом в диапазоне температур от -5 до 95 °С. Результаты измерений приведены на рис. 2.

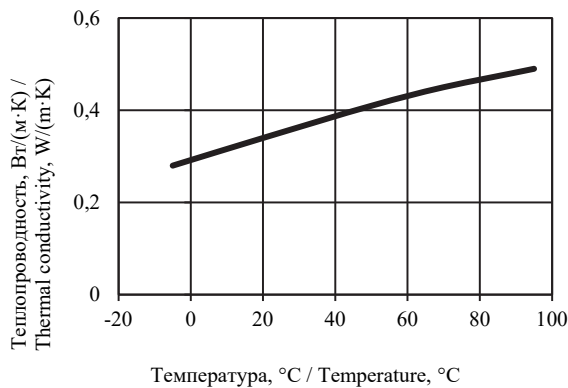


Рис. 2. Зависимости изменения теплопроводности мясной эмульсии от температуры
Figure 2. The temperature dependence of the thermal conductivity of the meat emulsion

Как видно из рис. 2, теплопроводность имеет монотонно возрастающий характер. Значения теплопроводности изменяются от 0,28 до 0,49 Вт/(м·К). Результаты известных литературных данных по теплопроводности различных фаршей представлены на рис. 3. Можно отметить, что измеренные значения теплопроводности схожи с литературными. Некоторые отличия связаны как с

размером фракции мяса при измельчении, так и с видом мяса (теплопроводность фаршей говядины и свинины отличается на $\sim 5\%$).

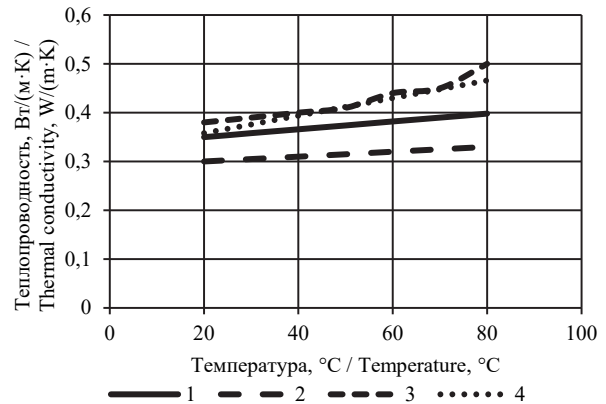


Рис. 3. Теплопроводность различных видов фаршей [5]:
1 – фарш для сосисок № 1; 2 – фарш для сосисок № 2;
3 – фарш говядины; 4 – фарш свинины
Figure 3. Thermal conductivity of various types of minced meat [5]:
1 – minced sausage No. 1; 2 – minced sausage No. 2;
3 – minced beef; 4 – minced pork

На кривых ДСК нагрева образцов мясной эмульсии (рис. 4) наблюдаются пики с эндотермическими тепловыми эффектами в диапазоне температур от -20 до 20 °С. Объяснение данных изменений на кривых ДСК заключается в поглощении тепла образцами материала в процессе перехода из замороженного твердого состояния в жидкое. Соответственно, данный тепловой эффект можно наблюдать и на температурной зависимости теплоемкости (рис. 5).

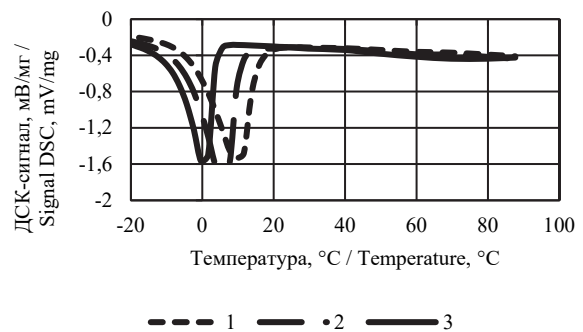


Рис. 4. ДСК-кривая измерения образцов мясной эмульсии:
1 – образец № 1; 2 – образец № 2; 3 – образец № 3
Figure 4. DSC curve of measurement of meat emulsion samples:
1 – sample No. 1; 2 – sample No. 2; 3 – sample No. 3

Значения теплоемкости в интервале температур перехода замороженной мясной эмульсии в вязкое состояние (без учета теплового эффек-

та) будут описываться полиномом второй степени. Тогда значения истинной удельной теплоемкости от -20 до 95 °С будут представляться аппроксимированной температурной зависимостью, изображенной на рис. 6.

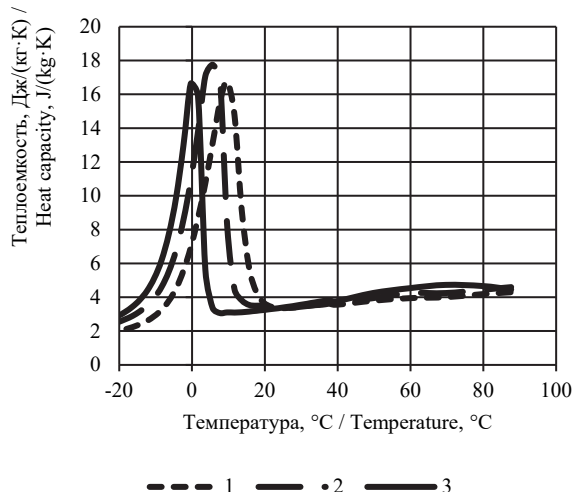


Рис. 5. Температурная зависимость теплоемкости образцов мясной эмульсии: 1 – образец № 1; 2 – образец № 2; 3 – образец № 3
Figure 5. Temperature dependence of the heat capacity of meat emulsion samples: 1 – sample No. 1; 2 – sample No. 2; 3 – sample No. 3

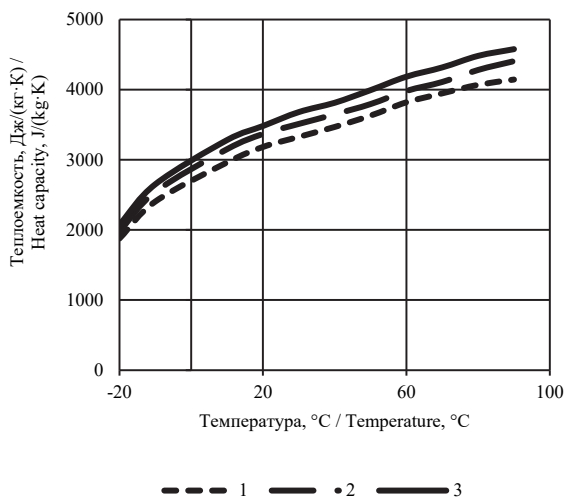


Рис. 6. Аппроксимированная температурная зависимость истинной теплоемкости образцов мясной эмульсии: 1 – образец № 1; 2 – образец № 2; 3 – образец № 3
Figure 6. Approximated temperature dependence of the true heat capacity of meat emulsion samples: 1 – sample No. 1; 2 – sample No. 2; 3 – sample No. 3

На основе полученных результатов эксперимента установлено, что по усредненным данным теплоемкость образцов мясной эмульсии,

в исследуемом интервале температур, составляет от 2800 до 4410 Дж/(кг·К).

Можно показать, что результаты исследования согласуются с литературными результатами, приведенными в [5]. Отличия связаны с массовым присутствием отдельных фракций в фарше, видом мяса, из которого изготавливают фарш, и содержанием в нем влаги.

Заключение

С помощью серийно выпускаемого оборудования проведено исследование теплопроводности и теплоемкости мясной эмульсии в диапазоне температур от -5 до 90 °С. Теплопроводность измерялась на приборе HFM436 методом стационарного теплового потока, теплоемкость – на приборе DSC204F1 методом дифференциальной сканирующей калориметрии.

Установлено, что значения теплопроводности, измеренные методом стационарного теплового потока, изменяются от 0,28 до 0,49 Вт/(м·К). Теплоемкость образца, измеренная методом дифференциальной сканирующей калориметрии, изменяется от 2800 до 4410 Дж/(кг·К). Полученные значения теплофизических характеристик хорошо согласуются с литературными результатами.

Список литературы

1. Горлов Д.С., Александров Д.А., Заклякова О.В., Азаровский Е.Н. Исследование возможности защиты интерметаллидного титанового сплава от фреттинг-износа путем нанесения ионно-плазменного покрытия // Труды ВИАМ. 2018. № 4 (64). С. 51–58. <https://doi.org/10.18577/2307-6046-2018-0-4-51-58>
2. Демин С.А., Виноградов С.С. Ремонт химического оксидного покрытия на углеродистой стали // Труды ВИАМ. 2018. № 9 (69). С. 43–50. <https://doi.org/10.18577/2307-6046-2018-0-9-43-50>
3. Зянкин М.Б. Совершенствование процесса измельчения мяса // Все о мясе. 2011. № 6. С. 14–15.
4. Стефановский В.М. Закономерности морозильного хранения мяса и мясопродуктов // Все о мясе. 2011. № 3. С. 14–15.
5. Гинзбург А.С., Громов М.А., Красовская Г.И. Теплофизические характеристики пищевых продуктов. М.: Пищевая промышленность, 1980. 288 с.
6. Дульгер Н.В., Зарипов Р.Н., Лысова В.Н. Экспериментальная оценка теплофизических характеристик продуктов животного происхождения // Вестник АГТУ. 2005. № 2. С. 284–287.

7. Sanz P., Alonso M.D., Mascheroni R. Thermophysical properties of meat products: general bibliography and experimental values // *Transactions of the ASAE*. 1987. Vol. 30. No. 1. Pp. 283–289. <https://doi.org/10.13031/2013.30441>

8. Marcotte M., Taherian A., Karimi Y. Thermophysical properties of processed meat and poultry products // *Journal of Food Engineering*. 2008. Vol. 88. Pp. 315–322. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2008.02.016>

9. Hassan H.F., Ramaswamy H. Measurement and targeting of thermophysical properties of carrot and meat based alginate particles for thermal processing applications // *Journal of Food Engineering*. 2011. Vol. 107. No. 1. Pp. 117–126. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2011.05.028>

10. Budžaki S., Šeruga B. Specific heat and thermal conductivity of the Croatian unleavened dough // *International Journal of Food Properties*. 2015. Vol. 18. No. 10. Pp. 2300–2311. <https://doi.org/10.1080/10942912.2014.971180>

11. Зуев А.В., Лоцинин Ю.В., Баринов Д.Я., Мараховский П.С. Расчетно-экспериментальные исследования теплофизических свойств // *Авиационные материалы и технологии*. 2017. № 5. С. 575–595. <https://doi.org/10.18577/2071-9140-2017-0-5-575-595>

12. Каблов Е.Н., Петрушин Н.В. Компьютерный метод конструирования литейных жаропрочных никелевых сплавов // *Литейные жаропрочные сплавы. Эффект С.Т. Кишкина*. М.: Наука, 2006. С. 56–78.

13. Лысова В.Н., Дульгер Н.В. Методика расчета теплофизических характеристик замороженной рыбы // *Вестник АГТУ*. 2004. № 1. С. 187–193.

14. Schmalko M.E., Morawicki R.O., Ramallo L.A. Simultaneous determination of specific heat capacity and thermal conductivity using the finite-difference method. // *Journal of Food Engineering*. 1997. Vol. 31. Pp. 531–540. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(96\)00074-X](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(96)00074-X)

15. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // *Авиационные материалы и технологии*. 2015. № 1 (34). С. 3–33. <https://doi.org/10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33>

16. Чэнь Я., Мараховский П.С., Мальшиева Г.В. Определение теплофизических свойств эпоксидных материалов в процессе их отверждения // *Труды ВИАМ*. 2018. № 9 (69). С. 119–123. <https://doi.org/10.18577/2307-6046-2018-0-9-43-50>

17. Лоцинин Ю.В., Фоломейкин Ю.И., Пахомкин С.И. Исследование теплоемкости металлических материалов с покрытием методом лазерной вспышки // *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*. 2015. Т. 81. № 9. С. 40–44.

coating. *Proceedings of VIAM*. 2018;(4):51–58. (In Russ.) <https://doi.org/10.18577/2307-6046-2018-0-4-51-58>

2. Dyomin SA, Vinogradov SS. Repair of chemical oxide coating on carbon steel. *Proceedings of VIAM*. 2018;(9):43–50. (In Russ.) <https://doi.org/10.18577/2307-6046-2018-0-9-43-50>

3. Zyankin MB. Improvement of the meat grinding process. *All about Meat*. 2011;(6):14–15. (In Russ.)

4. Stefanovsky VM. Regularities of freezing storage of meat and meat products. *All about Meat*. 2011;(3):14–15. (In Russ.)

5. Ginzburg AS, Gromov MA, Krasovskaja GI. *Thermophysical characteristics of food products*. Moscow: Pishhevaia Promyshlennost' Publ.; 1980. (In Russ.)

6. Dulger NV, Zaripov RN, Lysova VN. Experimental evaluation of thermophysical characteristics of animal products. *Bulletin of the AGTU*. 2005;(2):284–287. (In Russ.)

7. Sanz P, Alonso MD, Mascheroni R. Thermophysical properties of meat products: general bibliography and experimental values. *Transactions of the ASAE*. 1987; 30(1):283–289. <https://doi.org/10.13031/2013.30441>

8. Marcotte M, Taherian A, Karimi Y. Thermophysical properties of processed meat and poultry products. *Journal of Food Engineering*. 2008;88:315–322. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2008.02.016>

9. Hassan HF, Ramaswamy H. Measurement and targeting of thermophysical properties of carrot and meat based alginate particles for thermal processing applications. *Journal of Food Engineering*. 2011;107(1):117–126. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2011.05.028>

10. Budžaki S, Šeruga B. Specific heat and thermal conductivity of the Croatian unleavened dough. *International Journal of Food Properties*. 2015;18(10): 2300–2311. <https://doi.org/10.1080/10942912.2014.971180>

11. Zuev AV, Loshchinin YuV, Barinov DY, Marakhovskiy PS. Computational and experimental investigations of thermophysical properties. *Aviacionnye Materialy and Tehnologii*. 2017;(5):575–595. (In Russ.) <https://doi.org/10.18577/2071-9140-2017-0-5-575-595>

12. Kablov EN, Petrushin NV. Computer-aided design of cast heat-resistant nickel alloys. *Casting Heat-Resistant Alloys. The Effect of S.T. Kishkina*. Moscow: Nauka Publ.; 2006. p. 56–78. (In Russ.)

13. Lysova VN, Dulger NV. Method of calculation of thermophysical characteristics of frozen fish. *Vestnik AGTU*. 2004;(1):187–193. (In Russ.)

14. Schmalko ME, Morawicki RO, Ramallo LA. Simultaneous determination of specific heat capacity and thermal conductivity using the finite-difference method. *Journal of Food Engineering*. 1997;31:531–540. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(96\)00074-X](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(96)00074-X)

15. Kablov EN. Innovative developments of FSUE “VIAM” SSC of RF on realization of “strategic directions of the development of materials and technologies of their processing for the period until 2030”. *Aviacionnye Materialy and Tehnologii*. 2015;(1):3–33. (In Russ.) <https://doi.org/10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33>

References

1. Gorlov DS, Alexandrov DA, Zaklyakova OV, Azarovskiy EN. Investigation of the possibility of protection of intermetallic titanium alloy against fretting wear by ion-plasma

16. Chen Y., Marakhovsky PS, Malysheva GV. Determination of thermophysical properties of epoxy materials during their curing. *Proceedings of VIAM*. 2018;(9):119–123. (In Russ.) <https://doi.org/10.18577/2307-6046-2018-0-9-43-50>

17. Loshchinin YuV, Folomeykin YuI, Pakhomkin SI. Study of the heat capacity of coated metal materials using laser flash method. *Industrial Laboratory. Materials Diagnostics*. 2015;81(9):40–44. (In Russ.)

Сведения об авторах

Баринов Дмитрий Яковлевич, кандидат технических наук, инженер 2-й категории, лаборатория исследования теплофизических свойств, Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Российская Федерация, 105005, Москва, ул. Радио, д. 17; старший преподаватель, кафедра ракетно-космических композитных конструкций, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), Российская Федерация, 105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1; ORCID: 0000-0003-0541-2744, Scopus Author ID: 57195983194, eLIBRARI SPIN-код: 4756-4549; rasma1@mail.ru

Шорстов Сергей Юрьевич, техник 1-й категории, лаборатория исследования теплофизических свойств, Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Российская Федерация, 105005, Москва, ул. Радио, д. 17; ORCID: 0000-0003-4742-3644, Scopus Author ID: 57215871673, eLIBRARI SPIN-код: 6350-2742; Sshorstov7@gmail.com

About the authors

Dmitry Ya. Barinov, PhD, engineer of the 2nd category, Laboratory “Research of Thermophysical Properties”, All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials, National Research Center “Kurchatov Institute”, 17 Radio St, Moscow, 105005, Russian Federation; senior lecturer, Department of Rocket and Space Composite Structures, Bauman Moscow State Technical University (National Research University), 5 2-ya Baumanskaya St, bldg 1, Moscow, 105005, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-0541-2744, Scopus Author ID: 57195983194, eLIBRARI SPIN-code: 4756-4549; rasma1@mail.ru

Sergey Yu. Shorstov, technician of the 1st category, Laboratory “Research of Thermophysical Properties”, All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials, National Research Center “Kurchatov Institute”, 17 Radio St, Moscow, 105005, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-4742-3644, Scopus Author ID: 57215871673, eLIBRARI SPIN-code: 6350-2742; Sshorstov7@gmail.com