УДК [664.236:664.641.12.016]:536.6.081

DOI 10.29141/2500-1922-2019-4-2-8

Исследование теплофизических свойств нативной пшеничной клейковины при различных температурах

Е.В. Фоменко¹, А.Х.-Х. Нугманов^{1*}, А.А. Нугманова¹

¹Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань, Российская Федерация, *e-mail: albert909@yandex.ru

Ключевые слова:

клейковина
пшеничная;
теплофизические
характеристики;
температуро-
проводность;
удельная
теплоемкость;
теплопроводность

Реферат

Рассмотрены методы определения теплофизических характеристик (ТФХ) пищевых вязкоупругих материалов на примере клейковины пшеничной. Проанализированы особенности каждого метода, представлены результаты их применения. Актуальность исследования обусловлена тем, что имеется недостаточно научных данных о теплофизических характеристиках сырой клейковины, которые являются переменными величинами, зависящими от температурного режима, химического состава и качественных свойств зерна. Вследствие наличия множества разновидностей зерна, зависимости его свойств от места возделывания, применения удобрений и других факторов характеристики сырой клейковины могут значительно различаться. Результаты проведенных авторами исследований согласуются с данными справочников по продуктам, имеющим подобные теплофизические характеристики. Это подтверждает причину варьирования теплофизических характеристик в условиях заморозки объекта исследования – нативной пшеничной клейковины, т. е. фазовый переход воды из одного агрегатного состояния в другое при замораживании. При этом комплекс теплофизических характеристик сухого продукта в процессе замораживания изменяется незначительно. Авторами выдвинуто предположение о возможности определения коэффициента температуропроводности математически, по предлагаемой формуле при нахождении экспериментальным методом значения темпа регулярного режима для тела известного размера и формы. Экспериментальная установка, реализующая данный метод, состоит из тепловой и измерительной частей. Тепловая часть представляет собой теплоизолированный сосуд (термос), в который помещаются исследуемые образцы; измерительная часть состоит из двух схем – схемы питания и измерения напряжения и тока в нагревателе, а также схемы измерения и регистрации термоЭДС измерительной дифференциальной термпарой. Полученные при помощи экспериментальных данных кривые зависимостей удельной теплоемкости от средней температуры указывают на общий характер зависимости между ними.

Для цитирования: Фоменко Е.В., Нугманов А.Х.-Х., Нугманова А.А. Исследование теплофизических свойств нативной пшеничной клейковины при различных температурах // Индустрия питания | Food Industry. 2019. Т. 4. № 2. С. 58–64. DOI 10.29141/2500-1922-2019-4-2-8

Thermophysical Parameter Research of the Native Wheat Gluten at Various Temperatures

Ekaterina V. Fomenko¹, Albert H.-H. Nugmanov^{1*}, Adelina A. Nugmanova¹

¹Astrakhan State Technical University Astrakhan, Russian Federation, *e-mail: albert909@yandex.ru

Keywords:

wheat gluten;
thermal and physical
characteristics;

Abstract

This article presents methods for determining the thermophysical characteristics (TPH) for food viscoelastic materials on the example of wheat gluten. The researchers analyzed characteristic features of each method and presented the results of its application. The

*thermal diffusivity;
specific heat capacity;
heat conductivity*

study relevance is due to the fact that there is insufficient scientific data on the thermophysical characteristics of crude gluten, which are variables depending on temperature, chemical composition and grain quality properties. Due to the grain variety, its properties correspondence to the cultivation place, fertilizers application and other factors, raw gluten characteristics can vary significantly. The study results conducted by the authors are relevant to the available reference data on products having similar thermal and physical characteristics. This fact confirms the reason for the thermophysical characteristics variation in the freezing conditions of the research object – native wheat gluten – the phase water transition from one aggregate state to another during freezing. At the same time, the thermophysical characteristics complex of the dry product changes insignificantly during the freezing process. The authors assumed the possibility of determining the thermal diffusivity coefficient mathematically, according to the developed formula when finding regular regime rate for the body of known size and shape by the experimental method. The experimental device implementing this method consists of thermal and measuring parts. The thermal part is a heat-insulated vessel (thermos), in which the samples are placed. The measuring part consists of two parts – the diagram of power supply and voltage and current measurement in the heater, as well as the diagram of thermos EMF measure and registration by the measuring differential thermocouple. The curves of the specific heat dependence on the average temperature obtained with the help of experimental data indicate only the general nature of the dependence between them.

For citation: Ekaterina V. Fomenko, Albert H.-H. Nugmanov, Adelina A. Nugmanova. Thermophysical Parameter Research of the Native Wheat Gluten at Various Temperatures. Индустрия питания/Food Industry. 2019. Vol. 4, No. 2. P. 58–64. DOI 10.29141/2500-1922-2019-4-2-8

Введение

В России сегмент глубокой переработки зерновых является менее развитым сектором внутреннего потребления зернобобовых культур и зерна. Авторы, акцентируя внимание на необходимости импортозамещения, отмечают следующее: глубокая переработка зерна несет в себе значительный потенциал роста, что становится стимулом дальнейшего развития передовых отечественных биотехнологических инноваций.

Обоснование группы методов, используемых при переработке пшеничного зерна для извлечения его белковой составляющей – клейковины пшеничной в нативной форме, как и последующее производство крахмала и других продуктов из него актуальны и востребованы многими предприятиями агропромышленного комплекса страны. В продуктах глубокой переработки зерна заинтересованы мукомольное, спиртовое, хлебопекарное производство, а также производители макаронных изделий, крахмала, крахмалопродуктов. Требуется разработать способ получения клейковины пшеничной с пониженными адгезионными свойствами.

Объекты и методы исследования

Один из наиболее значимых продуктов комплексной переработки пшеничного зерна – клейковина, применяемая в качестве улучшителя пекарных характеристик пшеничной муки. «Натуральная сухая пшеничная клейковина», признанная безопасной (GRAS № 21 C.F.R. п. 184.1322) для применения как стабилизатор

и связующее вещество, белковый обогатитель муки и натуральный наполнитель, полностью соответствует требованиям кодекса FAO Экспертного комитета по продовольственным добавкам Всемирной организации здравоохранения.

Пшеничная клейковина в нативной форме относится к вязкоупругим материалам, или максвелловским жидкостям, согласно классификации, приведенной в [1]. Материалом, родственным объекту исследования, является, к примеру, пшеничное тесто. Обзор специальной литературы показал отсутствие обобщенных данных по теплофизическим характеристикам пшеничного теста, большой разброс отдельных показателей в разных источниках, представленных в табулированном виде, отсутствие справочных данных по математическим зависимостям ТФХ и влияющим на них переменным [2; 3].

Изменения теплофизических показателей пшеничного теста при положительной температуре, которые являются незначительными и считаются постоянными [2; 4], в большей степени зависят от содержания влаги и жира в продукте.

Поскольку свойства воды и льда существенно разнятся, то в процессе замораживания пищевого полуфабриката превращение воды в лед значительно изменяет его теплофизические свойства.

Для анализа известных методических подходов с применением регулярного режима вычисления коэффициента температуропроводности материала a , m^2/c используется акалориметриче-

ский метод Г.Н. Кондратьева [5]. Отличительным признаком методов регулярного и стационарного режимов является реализация нестационарного переноса тепловой энергии в объекте исследования при повышении и понижении температуры.

Результаты исследования и их обсуждение

Процессы нагрева и охлаждения любых продуктов с учетом математического описания являются идентичными.

Для стабилизации процесса важно проанализировать промежутки упорядоченного регулярного режима с варьированием температурного режима в каждой пространственной точке продукта, подчиняющегося конкретному закону и характеризующегося неизменной интенсивностью регулярного режима m :

$$V = A \cdot U \cdot e^{-m\tau}, \quad (1)$$

где $V = t - t_c$ – избыточная температура; A – константа, зависящая от начальных условий; U – отдельная функция координат; m – темп регулярного режима; τ – время от начала охлаждения тела.

Дифференцируя выражение (1) по τ , имеем:

$$\frac{\partial V}{\partial \tau} = -m \cdot A \cdot U \cdot e^{-m\tau}. \quad (2)$$

Из уравнений (1) и (2) следует:

$$\frac{\partial V}{\partial \tau} = -m \cdot V, \text{ или} \\ m = -\frac{1}{V} \cdot \frac{\partial V}{\partial \tau}; m = -\frac{\partial(\ln V)}{\partial \tau}. \quad (3)$$

Поскольку в выражение (3) не включена константа A , показатель темпа регулярного режима m не изменяется в зависимости от начального состояния системы и остался постоянным для всех точек тела. Константа A обусловлена начальными условиями и функцией U , результатом которой зависит от координат точки тела.

Из выражения (3) следует также, что при представлении опытных данных в координатах $\ln V - \tau$, что означает укладывание на прямую опытных точек для стадии регулярного режима, темп регулярного режима можно графически выразить тангенсом угла наклона прямой к оси абсцисс:

$$m = \frac{\ln V_1 - \ln V_2}{\tau_2 - \tau_1} = tg\beta. \quad (4)$$

При быстром охлаждении тела проявляется более крутой наклон прямой и возрастает величина m . Первая теорема Г.М. Кондратьева гласит, что при коэффициенте теплоотдачи $\alpha \rightarrow \infty$ и $t_\infty = const$ коэффициент температуропроводности пропорционален темпу регулярного режима:

$$a = k \cdot m, \quad (5)$$

где k – коэффициент формы.

Для цилиндра, например, это выглядит так:

$$k = \frac{1}{\left(\frac{2.405}{R}\right)^2 + \left(\frac{\pi}{h}\right)^2}, \quad (6)$$

где h – высота цилиндра; R – радиус цилиндра.

Авторами выдвинуто предположение о возможности определения коэффициента температуропроводности a по формуле (5) при нахождении экспериментальным методом значения темпа регулярного режима m для тела известного размера и формы.

Исследования осуществлялись на установке, описанной Г.Н. Кондратьевым [5].

На рисунке 1 представлено графическое описание эмпирически полученной зависимости коэффициента температуропроводности a клейковинного штрanga от средней температуры t_{cp} , °C. Отсюда можно сделать вывод о значительной зависимости температуропроводности пищевой нативной клейковины от температуры при понижении ее по сравнению криоскопической в процессе формирования в штрangе вымороженной влаги.

Для удобства расчета a для объекта исследования в зависимости от t_{cp} штрanga эмпирически полученная кривая была разбита на две зоны: для одной из них получено аппроксимированное уравнение, для другой – численное значение a , так как оно постоянно в данном диапазоне температур. Результаты исследований представлены в табл. 1.

Наряду с температуропроводностью важной теплофизической характеристикой является теплоемкость. Теплоемкость, будучи функцией температуры, имеет ряд свойств в области фазовых переходов.

Рис. 1. График изменения температуропроводности сырой клейковины в зависимости от температуры штрanga
Fig. 1. Graph of Temperature Conductivity Changes of Crude Gluten Depending on the Extrusion Temperature

Таблица 1. Аппроксимация эмпирически полученных изменений величины a от t_{cp} для сырой клейковины, m^2/c
Table 1. Approximation of Empirically Obtained Changes in the Value of a from t_{avg} for Raw Gluten, m^2/s

Зона	Диапазон	Уравнение
1	$-3,5 \leq t_{cp} \leq -1,5$	$a \cdot 10^7 = -1,126t_{cp}^3 - 1,32t_{cp}^2 - 4,74t_{cp} - 3,189$ (7)
2	$-1,5 \leq t_{cp} \leq 5,0$	$a = 1,38 \cdot 10^{-7}$ (8)

Исследователи провели измерения в условиях нормального атмосферного давления, стараясь пренебрегать влиянием давления на теплоемкость. Для измерений применялись калориметрические методы (косвенные методы): метод смешения; адиабатного калориметра; дифференциального калориметра; метод микрокалориметра регулярного режима; метод сравнения.

В отличие от химически нейтральных веществ пищевые продукты имеют свою специфику – требуют выполнения целого ряда условий, например таких, как затраты времени на эксперимент, быстрая замена исследуемых образцов, простота конструкции установки, максимальная точность определения теплоемкости.

Поскольку метод адиабатического калориметра, позволяющий достичь наибольшей точности результата [6], неприемлем для пищевых продуктов, то при проведении эксперимента использовался метод, удовлетворяющий именно пищевым продуктам¹. В основу экспериментального метода положено определение постоянной калориметра K , учитывающей потери вводимой тепловой энергии с высокой точностью, а также создание высокочувствительной измерительной схемы, обеспечивающей надежное измерение небольших (порядка 2К) изменений температуры образца. Метод позволяет в течение нескольких минут получить результат.

Используемая экспериментальная установка состоит из тепловой и измерительной частей: тепловая часть представляет собой теплоизолированный сосуд (термос), в который помещаются исследуемые образцы; измерительная часть состоит из двух частей – схемы питания и измерения напряжения и тока в нагревателе, а также схемы измерения и регистрации термоЭДС измерительной дифференциальной термопарой.

Как известно, удельная теплоемкость определяется по формуле

$$C = \frac{Q_{\text{пол}}}{M \cdot \Delta t}, \quad (9)$$

где C – удельная теплоемкость, Дж/(кг·К); $Q_{\text{пол}}$ – полезное количество введенной в исследуемый

образец тепловой энергии, Дж; M – масса образца, кг; Δt – изменение температуры образца, К.

Из формулы (9) видно, какие величины необходимо измерять. Количество теплоты, вводимой в образец с помощью электрического нагревателя, определяется по формуле закона Джоуля–Ленца:

$$Q = U \cdot I \cdot \Delta t, \quad (10)$$

где U – напряжение на нагревателе образца, В; I – ток через нагреватель, А; Δt – отрезок времени, в течение которого пропускается ток через нагреватель, с.

При определении удельной теплоемкости (формулы 9 и 10) требуется точное измерение напряжения на нагревателе образца, величины тока, проходящего через него, времени пропускания тока, массы образца и его температуры от выделившейся теплоты. При этом требуется следить за минимальной потерей теплоты.

С целью сведения всех тепловых потерь к минимуму, не прибегая к созданию адиабатических условий, экспериментальная установка снабжена термостатом с регулятором температуры, обеспечивающим создание и поддержание заданной температуры внутри термоса для получения температурной зависимости удельной теплоемкости в рабочем диапазоне температур и чувствительным измерителем температуры образца. Схема установки представлена на рис. 2.

Теплоемкость сырой клейковины в интервале температур от 0,01 до 5 °С остается постоянной. В данном диапазоне температур значения удельной теплоемкости c (Дж/(кг·К)) для исследуемого продукта определялись экспериментально методом, описанным в [7]. Для интервала температур от –3,5 до 0 °С зависимость теплоемкости от температуры клейковины пшеничной определялась аддитивно:

- в интервале от –4 °С до криоскопической температуры в продукте появилась вымороженная влага ω , доля которой влияет на значение c в заданной точке температурного измерения, и находится в зависимости от данных, приведенных (табл. 2);

- в период от криоскопической температуры до 0 °С теплоемкость воды в полуфабрикате имеет значение 2 050 Дж/(кг·К).

¹ Калориметр для определения удельной теплоемкости пищевых продуктов: пат. № RU154799; МПК G01N25/20 / Нугманов А. Х.-Х., Краснов В. А., Краснов И. В.; заявитель и патентообладатель: Нугманов А. Х.-Х. – 2015105320/28; заявл. 17.02.2015; опублик. 10.09.2015. Бюл. № 25.

Рис. 2. Схема установки для определения температурной зависимости удельной теплоемкости пищевых продуктов:

1 – исследуемый полуфабрикат; 2 – нагреватель; 3 – емкость для исследуемого образца; 4, 5 – дифференциальная термопара; 6 – оболочка термоса; 7 – электрический коммутатор; 8 – источник электрического тока; 9 – переключатель; 10 – амперметр; 11 – вольтметр; 12 – фотокомпенсационный усилитель типа Ф-116/2; 14 – магазин сопротивлений РЗЗ; 15 – устройство для регулирования смещения нуля прибора; 13 – самописец; 16 – криотермостат

Fig. 2. Installation Diagram for Determining the Temperature Dependence of the Specific Heat of Food Products:

1 – Semi-Finished Product under Study; 2 – Heater; 3 – Container for the Sample; 4, 5 – Differential Thermocouple; 6 – Thermos Membrane; 7 – Electric Commutator; 8 – Electric Current Source; 9 – Switch; 10 – Amperemeter; 11 – Voltmeter; 12 – Photo Cancellation Amplifier Type F-116/2; 14 – Resistor Bank R33; 15 – Device for Adjusting the Device Zero Offset; 13 – Recorder; 16 – Cryothermostat

Для исследуемого продукта экспериментально полученное среднее значение удельной теплоемкости c (Дж/(кг·К)) для заданного интервала температур представлено ниже (табл. 2).

Для аддитивного расчета c_{cp} при температурах от 0 °С до криоскопической учитывается теплоемкость воды при нулевой температуре.

Таблица 2. Среднее значение удельной теплоемкости сырой клейковины c_{cp} в интервале температур от 0,01 до 10 °С

Table 2. Average Specific Heat Capacity of Crude Gluten, c_{avg} in the temperature gap from 0,01 °С to 10 °С

Показатель	c_{cp} , Дж/кг·К
Экспериментальные значения	3185 / 3188 / 3179 / 3175 / 3181
Среднее значение	≈ 3181

На практике для удобства, когда необходимо рассчитать теплоемкость клейковины c_{cp} при температурах ниже криоскопической, целесообразно использовать уравнение (11), согласно которому количество вымерзшей влаги ω определяется из зависимостей (представленных в табл. 3), от требуемой температуры, но с учетом изменения величины теплоемкости льда в интервале температур от криоскопической до – 4 °С.

Таблица 3. Аппроксимирующие зависимости $\omega = f(t)$ для трех зон замораживания

Table 3. Approximating Dependences $\omega = f(t)$ for Three Freezing Zones

Зона	Аппроксимирующая зависимость
2	$\omega = -1,8t^3 - 17,7t^2 - 59,3t + 2,8$
3	$\omega = -t + 68$
4	$\omega = -1,125t + 66,5$

Уравнение для вычисления теплоемкости клейковинного штранга c_{cp} при температурах ниже 0 °С и до – 4 °С имеет следующий вид:

$$c_{cm} = \frac{W}{100} 2050 + \frac{\omega}{100} c_l + \left(1 - \frac{W}{100} - \frac{\omega}{100}\right) c_{c.o.}, \quad (11)$$

где W – влажность клейковины, кг/кг; ω – количество вымерзшей влаги в ней, %; c_l – теплоемкость льда в интервале температур от 0 до – 5 °С, Дж/(кг·К); $c_{c.o.}$ – теплоемкость сухого остатка, Дж/(кг·К) [4].

Значения средней удельной теплоемкости льда и сухого остатка сырой клейковины для заданного интервала температур, входящие в уравнение (11), представлены в табл. 4.

Таблица 4. Средняя удельная теплоемкость льда и сухого остатка сырой клейковины

Table 4. Average Specific Heat of Ice and Dry Residual of Crude Gluten

Показатель	c_{cp} , Дж/кг·К
Лед	≈ 2027
Сухой остаток сырой клейковины	≈ 1652

Значения средней удельной теплоемкости сырой клейковины для заданного интервала температур представлены в табл. 5.

Полученные при помощи экспериментальных данных кривые зависимостей удельной теплоемкости от средней температуры указывают лишь на общий характер зависимости между ними. Для упрощения решения математической модели массо- и теплопереноса кривая была сглажена при аппроксимации экспериментальных данных $c_{cp} = f(-3,5 \leq t \leq -0,1)$. Значение средней удельной теплоемкости сырой клейковины пшеничной в интервале температур от – 0,1 до

$-3,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ определяется из выражения (12), а выше $-0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ – по данным табл. 4:

$$c_{cp} = 120t^2 + 809t + 3\,250. \quad (12)$$

Таблица 5. Средняя удельная теплоемкость сырой клейковины в заданном интервале температур
Table 5. NAverage Specific Heat of Wet Gluten within the Specified Temperature Range

Температура $t_{cp}, ^{\circ}\text{C}$	$c_{cp}, \text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$
от 0,01 до 5	≈ 3181
0	≈ 1891
-1,5	≈ 1882
-2,0	≈ 1881
-2,5	≈ 1880
-3,0	≈ 1879
-3,5	≈ 1878

Полученная зависимость удельной теплоемкости c_{cp} объекта исследования от средней температуры t_{cp} графически представлена на рис. 3.

Рис. 3. График зависимости удельной теплоемкости c_{cp} объекта исследования от средней температуры t_{cp}
Fig. 3. Graph of Specific Heat Capacity c_{avg} of the Research Object of the Average Temperature t_{avg}

Коэффициент теплопроводности λ_{cp} ($\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$) для заданного интервала температур определяется через зависимость $a = \frac{\lambda_{cp}}{c_{cp}\rho_{cp}}$, где значения a , c_{cp} и ρ_{cp} уже известны.

Расчетное значение теплопроводности λ_{cp} ($\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$) исследуемого материала для выбранных значений температур дано в табл. 6.

Аппроксимированная зависимость теплопроводности λ_{cp} ($\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$) для сырой клейковины из пшеницы от средней температуры t_{cp} в интер-

Таблица 6. Значения λ_{cp} сырой клейковины для выбранных значений температур
Table 6. λ_{avg} Values of Wet Gluten for the Selected Temperature Values

Температура $t_{cp}, ^{\circ}\text{C}$	$\lambda_{cp}, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$
-3,5	8,95
-3,0	5,88
-2,5	3,75
-2,0	2,26
-1,5	1,19
-1,0	0,38
-0,1	0,28
0,01	0,48
5,0	0,48

вале от $-3,5$ до 1°C представлена на рис. 4. Если температура выше 1°C , то значение λ_{cp} практически постоянно и определяется из табл. 6.

Рис. 4. График зависимости теплопроводности λ_{cp} объекта исследования от средней температуры t_{cp}
Fig. 4. Graph of Thermal Conductivity Dependence λ_{avg} of the Research Object of the Average Temperature t_{avg}

Выводы

В ходе проведенного исследования установлено изменение следующих теплофизических характеристик образцов при технологической обработке: удельной теплоемкости, коэффициента теплопроводности и температуропроводности.

По результатам экспериментально-аналитических исследований получены характеристики исходного сырья и их аппроксимирующие зависимости от температуры в интервале от -4 до $5\text{ }^{\circ}\text{C}$, параметры фазовых переходов при льдообразовании, а также показатели влажности при переходе от одной стадии технологии к другой.

Библиографический список

1. Popineau Y., Bonenfant S., Cornec M., Pe'zolet M. A study by infrared spectroscopy of the conformations of gluten proteins differing in their gliadin and glutenin compositions // J. Cereal Sci. 1994. No. 20. P. 15–22.
2. Бараненко А.В. и др. Холодильная технология пищевых продуктов (теплофизические основы). СПб.: ГИОРД, 2007. 224 с.
3. Гинзбург А.С., Громов М.А., Красовская Г.И. Теплофизические характеристики пищевых продуктов: справочник. М.: Агропромиздат, 1990. 287 с.
4. Алексанян А.И. Совершенствование процессов получения замороженных рыбных фаршевых гранулированных смесей: дис. ... канд. техн. наук.: 05.18.12. СПб., 2018. 146 с.
5. Кондратьев Г.М. Регулярный тепловой режим. М.: ГИТТЛ; Гостехиздат, 1954. 408 с.
6. Температурные измерения: справочник. Киев: НАУКОВА ДУМКА, 1989.
7. Нугманов А. Х.-Х. Научно-практические подходы к конструированию многокомпонентных пищевых систем в технологии общественного питания: монография. Астрахань: ИП Сорокин Роман Васильевич, 2016. 96 с.

Bibliography

1. Popineau, Y.; Bonenfant, S.; Cornec, M.; Pe'zolet, M. A Study by Infrared Spectroscopy of the Conformations of Gluten Proteins Differing in Their Gliadin and Glutenin Compositions // J. Cereal Sci. 1994. No. 20. P. 15–22.
2. Baranenko, A.V. i dr. Holodilnaya Tekhnologiya Pishchevyh Produktov (Teplofizicheskie Osnovy) [Food Products Refrigeration Technology (Thermal Basis)]. SPb.: GIOR, 2007. P. 224.
3. Ginzburg, A.S.; Gromov, M.A.; Krasovskaya, G.I. Teplofizicheskie Harakteristiki Pishchevyh Produktov: Spravochnik [Food Products Thermophysical Characteristics: Guide Book]. M.: Agropromizdat, 1990. P. 287.
4. Aleksanyan, A.I. Sovershenstvovanie Processov Polucheniya Zamorozhennyh Rybnyh Farshevyh Granulirovannyh Smesey [Processes Improvement for the Frozen Minced Fish Production of Granular Mixtures]: Dis. ... Kand. Tekhn. Nauk.: 05.18.12. 2018. P. 146.
5. Kondratev, G.M. Regulyarnyj Teplovoj Rezhim [Regular Heat Mode]. M.: GITTL; Gostekhizdat, 1954. P. 408.
6. Temperaturnye Izmereniya: Spravochnik [Temperature Measurements: Guide Book]. Kiev: NAUKOV ADUMKA, 1989.
7. Nugmanov, A. H.-H. Nauchno-Prakticheskie Podhody k Konstruirovaniyu Mnogokomponentnyh Pishchevyh Sistem v Tekhnologii Obshchestvennogo Pitaniya: Monografiya [Scientific and Practical Approaches to the Multicomponent Food Systems Design in Catering Technology: Monography]. Astrakhan: IP Sorokin Romansilyevich, 2016. P. 96.

Информация об авторах / Information about Authors**Фоменко****Екатерина Валерьевна**Fomenko,
Ekaterina Valeryevna

Тел./Phone: +7 (8512) 61-41-91

E-mail: tetatet.78@mail.ru

*Аспирант кафедры технологических машин и оборудования
Астраханский государственный технический университет
414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 16**Postgraduate Student of the Technological Machinery and Equipment Department
Astrakhan State Technical University
414056, Russian Federation, Astrakhan, Tatishcheva St., 16***Нугманов****Альберт Хамед-Харисович**Nugmanov,
Albert Hamed-Harisovich

Тел./Phone: +7 (8512) 61-41-91

E-mail: albert909@yandex.ru

*Доктор технических наук, доцент, профессор кафедры технологических машин
и оборудования**Астраханский государственный технический университет
414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 16**Doctor of Technical Science, Associate Professor
Professor of the Technological Machinery and Equipment Department
Astrakhan State Technical University
414056, Russian Federation, Astrakhan, Tatishcheva St., 16*ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0994-9469>**Нугманова****Аделина Альбертовна**Nugmanova,
Adelina Albertovna

Тел./Phone: +7 (8512) 61-41-91

E-mail: albert909@yandex.ru

*Аспирант кафедры технологических машин и оборудования
Астраханский государственный технический университет
414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 16**Postgraduate Student of the Technological Machinery and Equipment Department
Astrakhan State Technical University
414056, Russian Federation, Astrakhan, Tatishcheva St., 16*