

Влияние жирности маргаринов на температуру фазовых переходов при замораживании и нагревании

В. Н. АНДРЕЕВ, С. А. БРЕДИХИН, А. В. ЖУРАВЛЕВ, Е. А. МУТОВКИНА, А. А. МАКАРОВА

Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127434, Российская Федерация

Резюме. Исследование проводили с целью изучения влияния массовой доли жира в маргаринах на тепловые процессы (нагревание, охлаждение, замораживание и размораживание), происходящие с продуктом при его обработке в производственных условиях. Работу выполняли с использованием дифференциального сканирующего калориметра DSC 204F1 (NETSCH) в два этапа с постоянной скоростью изменения температуры 10 °С в минуту: первый этап – нагревание в температурном интервале от +20 до +200 °С; второй этап – охлаждение от +20 до -60 °С с последующим нагреванием до +200 °С. Исследовали три образца маргарина с массовой долей жира 40, 60 и 75 %. На первом этапе на кривых, характеризующих экспериментальные зависимости изменения удельного расхода энергии, площадь температурных пиков при нагревании для образца 1 (массовая доля жира 40 %) составила 811,4 Дж/г; образца 2 (60 %) – 534,1 Дж/г; образца 3 (75 %) – 270,9 Дж/г. При нагревании до +100 °С сильного увеличения расхода удельной энергии не отмечали, что соответствовало плавлению жировой фазы. Далее наблюдали его резкое повышение, что связано с кипением водной фазы. Температурные площади пиков образцов маргарина при охлаждении на втором этапе исследования отражали переход водной фазы из жидкого состояния в кристаллическое. В процессе размораживания наивысшая температура пика затрачиваемой энергии была зафиксирована у образца с массовой долей жира 60 % – +11,3 °С, наименьшая при массовой доле жира 75 % – +9,4 °С. В целом на втором этапе затраты удельной энергии при охлаждении и размораживании снижались по мере увеличения содержания жира в маргарине со 146,7 Дж/г до 96 Дж/г, а в процессе нагревания – с 807,2 Дж/г до 381,5 Дж/г. Результаты исследования могут быть основой для расчётов режимных параметров при хранении и использовании маргаринов с различной массовой долей жира.

Ключевые слова: маргарин, водно-жировые пищевые среды, теплоемкость, дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК), удельный расход энергии.

Сведения об авторах: В. Н. Андреев, кандидат технических наук, доцент; С. А. Бредихин, доктор технических наук, профессор; А. В. Журавлев, доктор технических наук, доцент (e-mail: zhuravlev@rgau-msha.ru); Е. А. Мутовкина, аспирант; А. А. Макарова, старший преподаватель.

Для цитирования: Влияние жирности маргаринов на температуру фазовых переходов при замораживании и нагревании / В. Н. Андреев, С. А. Бредихин, А. В. Журавлев и др. // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37. № 12. С. 72–76. doi: 10.53859/02352451_2023_37_12_72

The influence of the fat content of margarines on the temperature of phase transitions during freezing and heating

V. N. Andreev, S. A. Bredikhin, A. V. Zhuravlev, E. A. Mutovkina, A. A. Makarova

Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, ul. Timiryazevskaya, 49, Moskva, 127434, Russian Federation

Abstract. The research aimed to study the influence of the mass fraction of fat in margarine on the temperature of phase transitions during its freezing and heating. Three samples of margarine with a fat mass fraction of 40, 60 and 75% were studied. The work was carried out using a differential scanning calorimeter DSC 204F1 (NETSCH) in two stages with a constant rate of temperature change by 10 degrees Celsius per minute: the first stage – heating in the temperature range from +20 to +200 degrees; the second stage is cooling from +20 to -60 degrees followed by heating to +200 degrees. At the first stage, on the curves characterising the experimental dependences of changes in specific energy consumption, the area of temperature peaks during heating for sample 1 (mass fraction of fat 40%) was 811.4 J/g; sample 2 (60%) – 534.1 J/g; sample 3 (75%) – 270.9 J/g. When heated to +100 degrees Celsius, no strong increase in specific energy consumption was observed, which corresponded to the melting of the fat phase. Then a sharp increase was observed, which was associated with boiling of the aqueous phase. The temperature peak areas of the margarine samples during cooling at the second stage of the study reflected the transition of the aqueous phase from the liquid to the crystalline state. During the defrosting process, the highest temperature of the peak of expended energy was recorded for the sample with a mass fraction of fat of 60% – +11.3 degrees, the lowest with a mass fraction of fat of 75% – +9.4 degrees. In general, at the second stage, specific energy costs during cooling and defrostation decreased as the fat content in margarine increased from 146.7 J/g to 96 J/g, and during heating – from 807.2 J/g to 381.5 J/g. The results of the study can be the basis for calculating operating parameters during storage and use of margarines with different mass fractions of fat.

Keywords: margarine; water-fat food media; heat capacity; differential scanning calorimetry (DSC); specific energy consumption.

Author Details: V. N. Andreev, Cand. Sc. (Tech.), assoc. prof.; S. A. Bredikhin, D. Sc. (Tech.), prof.; A. V. Zhuravlev, D. Sc. (Tech.), assoc. prof. (e-mail: zhuravlev@rgau-msha.ru); E. A. Mutovkina, post graduate student; A. A. Makarova, senior lecturer.

For citation: Andreev VN, Bredikhin SA, Zhuravlev AV, et al. [The influence of the fat content of margarines on the temperature of phase transitions during freezing and heating]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2023;37(12): 72–6. Russian. doi: 10.53859/02352451_2023_37_12_72

Рынок маргаринов в разных странах активно расширяется благодаря развитию международной торговли, увеличению спроса на хлебобулочные и кондитерские изделия, а также независимости производства от сезонных факторов. Жирнокислотный состав, консистенция и температура плавления жиров, используемых в маргаринах, определяют их функциональные свойства [1].

Маргарин представляет собой эмульсию воды в масле, состоящую из водной фазы, диспергированной в виде мелких капель в жидком масле, ста-

билизированной сетью твердых кристаллов жира. Его используют при производстве хлебобулочных и кондитерских изделий, а также специализированных пищевых продуктов. Маргарин можно отнести к значимым компонентам рациона спортсменов, он помогает обеспечить организм энергией и необходимыми питательными веществами, что особенно важно при высоких физических нагрузках. Благодаря своим свойствам, маргарин позволяет создавать продукты с длительным сроком хранения и привлекательным внешним видом [2]. Ранее маргарины готовили из

бычьего жира, для замены которого разработаны рецептуры с использованием модифицированных растительных масел. На протяжении многих десятилетий использовали жиры частичной гидрогенизации растительных масел, что позволяло получать твердые жиры при комнатной температуре. Однако после появления сведений о негативном воздействии на здоровье трансжирных кислот (ТЖК), образующихся в процессе гидрогенизации, были предприняты меры по их замене [3].

Одним из важных компонентов питания можно назвать полиненасыщенные жирные кислоты, которые относят к эссенциальным факторам питания [4]. Традиционно для восполнения в рационе питания полиненасыщенных жирных кислот, а также ряда физиологических функциональных ингредиентов используют растительные масла и продукты на их основе, к числу которых относится маргарин [5].

При производстве пищевых продуктов крайне важны не только показатели качества сырья, но и условия его хранения до включения в производственный процесс, которые неизбежно влияют на органолептические и физико-химические свойства готового продукта [6, 7].

Стоит отметить, что изменение функционально-технологических свойств маргарина при использовании того или иного температурного режима хранения до сих пор изучено недостаточно [8]. К одним из основных показателей жировой фазы в пищевых технологиях относят её теплофизические характеристики. Из этого следует высокая релевантность исследований влияния тепловой обработки (замораживания, размораживания, нагревания) маргарина на ход технологического процесса при производстве хлебобулочных и мучных кондитерских изделий [9].

Цель исследований – изучение влияния массовой доли жира в маргаринах на тепловые процессы (нагревание, охлаждение, замораживание и размораживание), происходящие с продуктом при его обработке в производственных условиях.

Условия, материалы и методы. Работу проводили на базе Технологического института ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева в лаборатории «Аддитивные технологии в пищевой и перерабатывающей промышленности», созданной в рамках Гранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации «Приоритет 2030».

Для исследований использовали метод дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК), который служит эффективным аналитическим инструментом для характеристики физических свойств объектов исследования [11, 12]. ДСК позволяет

определять температуры плавления, кристаллизации и мезоморфного перехода и соответствующие изменения энтальпии и энтропии, а также характеризовать стеклование и другие эффекты, которые отражают либо изменения теплоемкости, либо количество теплоты, необходимое для протекания процессов. Методом ДСК в выполненной работе были получены такие теплофизические характеристики, как температуры максимумов эндотермических пиков и их площади для образцов маргарина с разной массовой долей жира [13].

Эксперименты проводили с использованием дифференциального сканирующего калориметра DSC 204F1 (NETSCH, Германия) с системой охлаждения и встроенным программным обеспечением для сбора, хранения и расчётов под MS-WINDOWS, а также с графическим интерфейсом. Ключевой элемент калориметра – печь, изготовленная из теплопроводного серебра и оснащенная встроенным нагревателем для создания равномерного и симметричного температурного поля внутри измерительной ячейки (3D симметрия). Благодаря серебряному блоку печи и сенсору, созданному из сплава Cr-Ni-константан, а также крайне низкому времени отклика Т-сенсора (0,6 с) достигается высокое разрешение мелких, близко расположенных и накладывающихся тепловых эффектов. Высокая чувствительность и разрешение μ -сенсора позволяют исследовать теплофизические свойства материалов. Прибор был откалиброван по тепловому потоку, температуре и базовой линии с использованием технологии Tzero. В качестве стандарта при калибровке по температуре использовали сапфир. Точность определения температуры для ДСК сигнала составила $\pm 0,1$ °C.

При измерении в печь на датчики-измерители помещали пустой тигель сравнения и тигель с образцом. При нагревании температура тигля с образцом всегда будет меньше температуры нагревателя, однако выше, чем температура самого образца благодаря явлению теплопереноса. Разницу температуры в стационарном состоянии определял тепловой поток между нагревателем и датчиком-измерителем, которую рассчитывали по формуле:

$$\Delta T = T_{\text{нагр}} - T_{\text{изм}}, \quad (1)$$

где $T_{\text{нагр}}$ – температура нагревателя, °C; $T_{\text{изм}}$ – температура, определяемая датчиком-измерителем, °C.

При каких-либо физических изменениях образца фиксировали изменение теплового потока. При таких интенсивных изменениях как фазовые переходы сигнал формировал так называемый пик, имеющий несколько базовых контрольных точек: начало пика (начало фазового перехода), пик (переход вещества из одной термодинамической фазы в другую) и ко-

Таблица 1. Объекты исследования

Код образца	Состав в соответствии с нанесенной маркировкой производителя, указанной на этикетке	Массовая доля, %	
		жира	влаги
1	вода, масла растительные дезодорированные (в том числе модифицированные), соль, эмульгаторы (Е471, Е476), консервант (сорбат калия), регулятор кислотности (кислота лимонная), ароматизатор, красители (аннато, куркумин).	40,0	52,0
2	масла растительные дезодорированные (в том числе гидрогенизированные и переэтерифицированные), вода, соль, эмульгатор (Е471), сливочное масло, консервант (сорбат калия), регулятор кислотности (кислота лимонная), краситель (Е100, Е160b), ароматизатор.	60,0	30,0
3	масла растительные дезодорированные (в том числе модифицированные), вода, эмульгаторы (моно- и диглицериды, эфиры полиглицерина жирных кислот, лецитин), соль, консервант (сорбат калия), регулятор кислотности (кислота лимонная), ароматизатор, красители (аннато, куркумин).	75,0	18,0

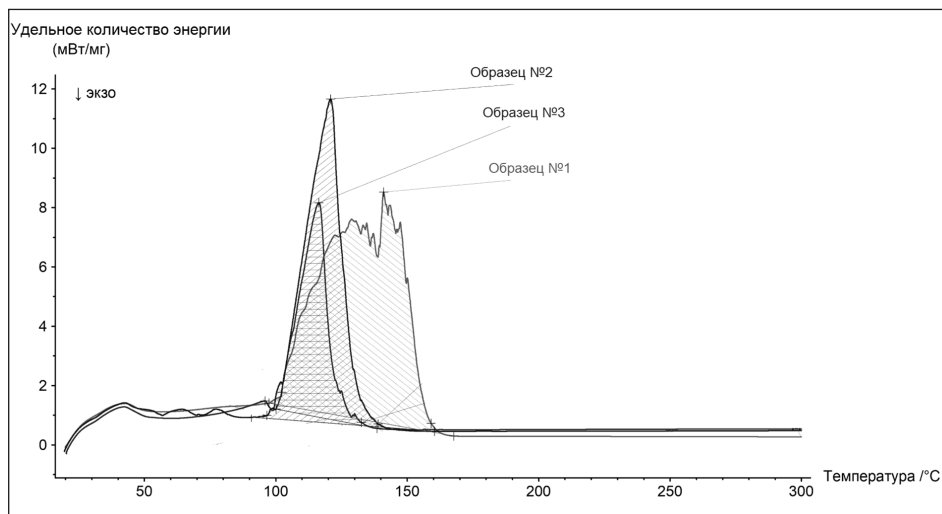


Рис. 1. Зависимость удельного расхода энергии от температуры нагревания образцов маргарина.

нец пика (стабилизация). Кроме того, при детектировании пика рассчитывали его площадь, которая характеризовала удельное количество теплоты, необходимое для протекания фазового перехода от его начала до окончания [14].

Таблица 2. Данные о температурных пиках образцов маргарина в температурном диапазоне от +20 до +200 °С

№ образца	Температура, °С			Площадь пиков, Дж/г
	начало пика	пик	окончание пика	
1	102,30	141,00	159,10	811,40
2	96,60	120,90	139,00	534,10
3	96,00	116,40	132,60	270,90

Результаты исследования обрабатывали в специальной программе и получали в виде графических зависимостей затрат удельной энергии от температуры и продолжительности её воздействия, а также площадей пиков. Обработку экспериментальных данных осуществляли в соответствии с руководством по эксплуатации дифференциального сканирующего калориметра DSC 204F1 Photnix.

Изучали закодированные образцы маргариновой продукции известных торговых марок с разной массовой долей жира (табл. 1). Исследования проводили в 2 этапа при разных температурных режимах с постоянной скоростью изменения температуры 10 °С в минуту. На первом этапе образцы маргарина нагревали в температурном диапазоне от +20 до +200 °С. Во время второго использовали температурную программу, которая включала охлаждение образцов маргарина от +20 до -60 °С (обоснована по результатам предварительных исследований) с последующим нагреванием до +200 °С. Начальная температура маргарина составляла 10 °С.

Результаты и обсуждение. Экспериментальные графические зависимости изменения удельного расхода энергии от температуры нагревания образцов маргарина характеризовались пика-

температурами наступления событий в процессе фазового перехода (табл. 2). Особенно четко такие зависимости просматривались при наибольшей интенсивности пика и его окончания. Температура начала пика для образцов 2 и 3 находилась приблизительно на одном уровне, а у образца 1 она была значительно выше. Площадь под пиками также коррелировала с массовой долей жира образцов. У образца с наименьшей массовой долей жира (образец 1) она была наибольшей, а у образца с самой высокой массовой долей жира (образец 3) – наименьшей. Такая зависимость, на наш взгляд, обусловлена тем, что по мере снижения массовой доли жира в образце возрастает содержание влаги, следовательно, затрачивается большее количество энергии в процессе фазового перехода воды из жидкого в газообразное состояние с одновременным сгоранием жировой фазы.

При охлаждении до -20 °С полного замораживания водной фазы в образцах маргарина не про-

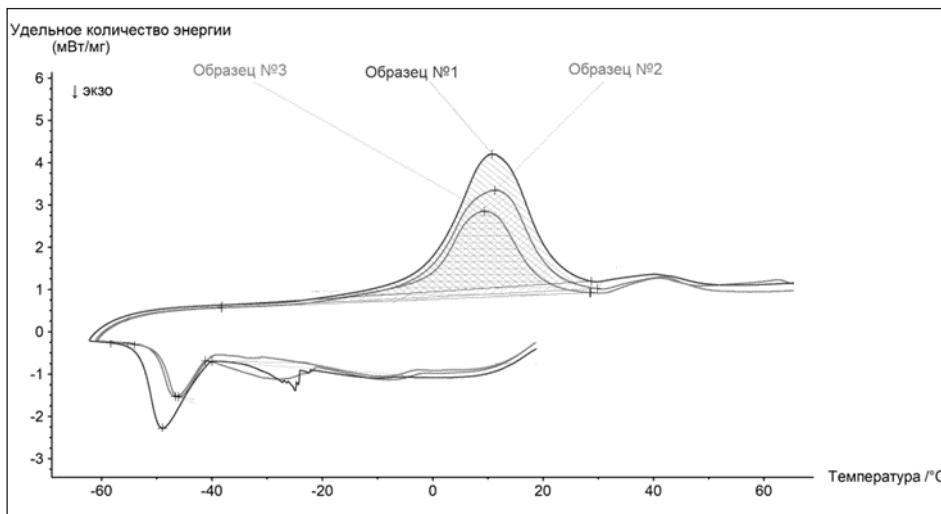


Рис. 2. Зависимость удельного расхода энергии от температуры при охлаждении с последующим нагревом образцов маргарина.

ми, свидетельствующими о фазовых изменениях, происходящих в объектах исследования (рис. 1). В диапазоне температуры от +20 до +100 °С не наблюдали резкого увеличения расхода удельной энергии, что свидетельствовало о плавлении жировой фазы. При нагревании выше +100 °С наблюдали резкое увеличение расхода энергии. Вероятно, это связано с кипением водной фазы в исследуемом образце.

Полученные данные позволили увидеть корреляцию между массовой долей жира образца и

Таблица 3. Данные о температурных пиках образцов маргарина в температурном диапазоне от +20 до -60 °С с последующим нагреванием до +60 °С.

№ образца	Температура охлаждения, °С			Температура нагревания, °С		Площадь пиков, Дж/г
	начало пика	пик	окончание пика	пик	окончание пика	
1	-40,00	-48,90	-58,30	10,80	28,70	146,70
2	-41,10	-46,60	-55,20	11,30	29,80	122,70
3	-41,00	-46,00	-54,00	9,40	28,50	96,00

исходило, о чем свидетельствует отсутствие пиков фазового перехода на экспериментальных зависимостях (рис. 2). Температура начала фазового перехода при охлаждении для образцов 2 и 3 находилась на одном уровне (-46,6 °С и -46,0 °С соответственно), а для образца 1 (массовая доля жира 40 %) она составила -48,9 °С. Температура завершения фазового перехода для образца 3 (массовая доля жира 75 %) была равна -54,0 °С; для образца 2 (массовая доля жира 60 %) – -55,2 °С, образца 1 (массовая доля жира 40 %) – -58,3 °С. Зависимости отразили переход водной фазы из жидкого в кристаллическое состояние.

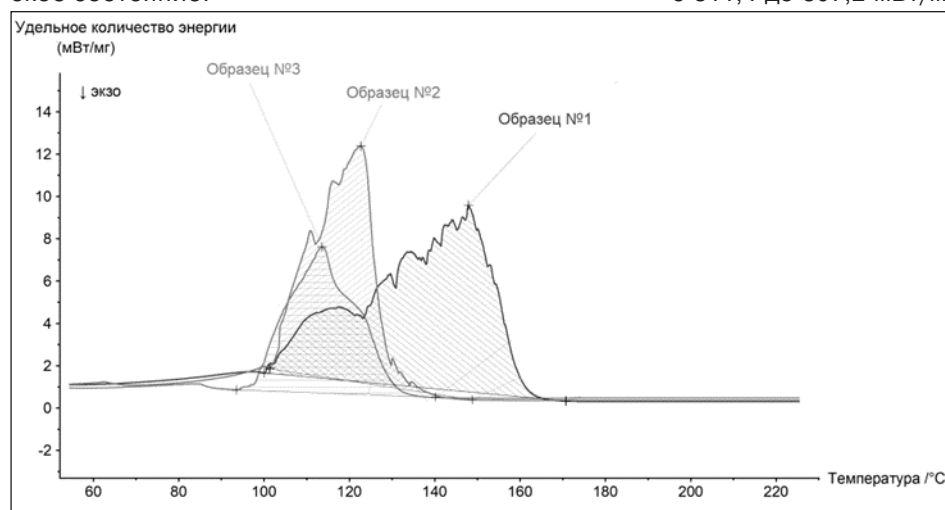


Рис. 3. Зависимость удельного расхода энергии от температуры нагрева образцов маргарина.

В процессе размораживания ранее обозначенную зависимость между массовой долей жира образца и температурой пика затрачиваемой энергии не наблюдали. Наивысшей она была у образца с массовой долей жира 60 % – +11,3 °С, а наименьшей при массовой доле жира 75 % – +9,4 °С (табл. 3). Эти зависимости отразили переход водной фазы образцов маргарина из кристаллического в жидкое состояние.

Таблица 4. Данные о температурных пиках образцов маргарина в температурном диапазоне от +60 до +200 °С

№ образца	Температура, °С			Площадь пика, Дж/г
	начало пика	пик	окончание пика	
1	100,10	147,90	170,80	807,20
2	101,40	122,70	148,80	544,10
3	93,60	113,60	140,20	381,50

При нагревании до +200 °С после предварительного охлаждения температуры начала фазового перехода для образцов 2 и 3, в отличие от первого этапа эксперимента, где они находились на одном уровне (см. табл. 2), значительно различались и составляли соответственно +101,4 °С и +93,6 °С (рис. 3).

Литература.

1. Research of rheological characteristics of mayonnaise with different varieties of honey added / S. Bredikhin, V. Andreev, A. Martekha, et al. // *Ciencia e Tecnologia de Alimentos*. 2023. Vol. 43. Article e118722. URL: <https://www.scielo.br/j/cta/a/4z8mtdkDhSvzWxsD4wB8ZFK/?lang=en> (дата обращения: 01.06.2023). doi: 10.1590/fst.118722.
2. Silva T., Barrera-Arellano D., Ribeiro A. Margarines: Historical approach, technological aspects, nutritional profile, and global trends // *Food research international*. 2021. Vol. 147. Article 110486. URL: <https://www.>

Кроме того, температуры начала пика, пика и окончания пика, были обратно пропорциональны массовой доле жира в образцах. Следовательно, ее увеличение приводило к снижению температуры начала фазового перехода при нагревании маргарина и, тем самым, к уменьшению потребления энергии. Площадь пика для образца с массовой долей жира 75 %, по сравнению с маргарином с массовой долей жира 40 %, уменьшилась в 2,1 раза (табл. 4).

На втором этапе исследований удельный расход энергии при нагревании образца 1 (массовая доля жира 40 %) уменьшился, по сравнению с первым этапом, с 811,4 до 807,2 мВт/мг. Увеличение массовой доли

жира в маргарине сопровождалось его повышением. Так, для образца 2 (массовая доля жира 60 %) удельный расход энергии увеличился с 534,1 до 544,1 мВт/мг, для образца 3 (массовая доля жира 75 %) – с 270,9 до 381,5 мВт/мг. В целом, предварительное охлаждение оказало влияние на расход удельной энергии при дальнейшем нагревании образцов до +200 °С.

Выводы. С увеличением массовой доли жира в маргарине с 40 до 75 % затраты удельной энергии снижаются. При нагревании в диапазоне темпе-

ратур от +20 до +200 °С затраты удельной энергии уменьшаются с 811,4 Дж/г до 270,9 Дж/г. При охлаждении от +20 до -60 °С с последующим нагреванием до +200 °С сохраняется аналогичная закономерность. При охлаждении они снижались со 146,7 Дж/г до 96 Дж/г, а в процессе последующего нагревания – с 807,2 Дж/г до 381,5 Дж/г. Результаты исследования могут служить основанием для разработки рекомендаций

и расчётов режимных параметров при хранении и переработке маргаринов. Установленные закономерности позволяют более точно рассчитывать затраты энергии и планировать технологический процесс хранения маргаринов с различной массовой долей жира.

- sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996921003859?via%3Dihub (дата обращения: 01.06.2023). doi: 10.1016/j.foodres.2021.110486.
3. Conjugated linoleic acid (CLA): Effect modulation of body composition and lipid profile / A. Feitoza, A. Pereira, N. Ferreira da Costa, et al. // *Nutricion hospitalaria*. 2009. Vol. 24. P. 422–428.
4. Quality designing and food safety provisioning based on qualimetric forecasting / N. Dunchenko, V. Yankovskaya, E. Voloshina, et al. // *Ciencia e Tecnologia de Alimentos*. 2022. Vol. 42. Article 112021. URL: <https://www.scielo.br/j/cta/a/t3xpZcWc3zjGwq8C4qKBBFn/?lang=en> (дата обращения: 01.06.2023). doi: 10.1590/fst.112021.
5. Аникиенко Т. И., Дунченко Н. И. Международный опыт минимизации отходов в АПК и пищевой промышленности // *Пищевая промышленность*. 2023. № 9. С. 57–59. doi: 10.52653/PPI.2023.9.9.010.
6. Dunchenko N. I., Yankovskaya V. S. A new approach to developing the quality of yoghurts with functional ingredients // *Food Processing: Techniques and Technology*. 2022. Vol. 52. No. 2. P. 214–221. doi: 10.21603/2074-9414-2022-2-2357.
7. Николаев Б. Л. Обобщенные зависимости для расчета реологических характеристик маргаринов // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2009. № 9. С. 30–32.
8. Investigation of the process of structure formation during ultrasonic homogenization of milk / S. A. Bredikhin, V. N. Andreev, A. N. Martekha, et al. // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022. Vol. 954. Article 012014. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/954/1/012014> (дата обращения: 01.06.2023). doi: 10.1088/1755-1315/954/1/012014.
9. Рахимов Д. П., Салижанова Ш. Д., Рузibaев А. Т. Определение оптимального температурного режима при охлаждении и кристаллизации в производстве маргарина для слоеного теста // *Universum: химия и биология*. 2019. № 12 (66). С. 95–99.
10. Saillard M. Margarines et matieres grasses tartinables // *Cahiers de Nutrition et de Dietetique*. 2010. Vol. 45. P. 274–280. doi: 10.1016/j.cnd.2010.08.001.
11. Tan C. P., Cheman Y. B. Differential scanning calorimetric analysis of edible oils: Comparison of and chemical composition thermal properties // *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 2012. Vol. 77. P. 143–155. doi: 10.1007/s11746-000-0024-6.
12. Зависимость интенсивности фазовых переходов от жирности маргарина при различных температурных воздействиях / Е. А. Мутовкина, А. П. Назарова, В. Н. Андреев и др. // *АПК России: образование, наука, производство*. Пенза: ПГАУ, 2023. С. 60–63.
13. Mutovkina E. A., Bredikhin S. A. Analysis of coffee thermophysical changes during roasting using differential scanning calorimetry // *Food science and Technology*. 2023. Vol. 43. Article e119722. URL: <https://www.scielo.br/j/cta/a/Ffv4BQ5nwkLLprXwNLvF8rP/?lang=en> (дата обращения: 01.06.2023). doi: 10.1590/fst.119722.
14. Саранов И. А., Рудаков О. Б., Полянский К. К. Дифференциальная сканирующая калориметрия какао масла и шоколадной глазури // *Вестник ВГУИТ*. 2020. Т. 82. № 2. С. 154–160. doi: 10.20914/2310-1202-2020-2-154-160.
15. Complex estimation of effectiveness of quality system processes at food industry enterprises / N. Dunchenko, E. Voloshina, S. Kuptsova, et al. // *Foods and Raw Materials*. 2018. Vol. 6. No. 1. P. 182–190. doi: 10.21603/2308-4057-2018-1-182-190.

References

1. Bredikhin S., Andreev V., Martekha A., et al. Research of rheological characteristics of mayonnaise with different varieties of honey added. *Ciencia e Tecnologia de Alimentos* [Internet]. 2023 [cited 2023 Jun 1];43: Article e118722. Available from: <https://www.scielo.br/j/cta/a/4z8mtdkDhSvzWxsD4wB8ZFK/?lang=en>. doi: 10.1590/fst.118722.
2. Silva T, Barrera-Arellano D, Ribeiro A. Margarines: Historical approach, technological aspects, nutritional profile, and global trends. *Food research international* [Internet]. 2021 [cited 2023 Jun 1];147: Article 110486. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996921003859?via%3Dihub>. doi: 10.1016/j.foodres.2021.110486.
3. Feitoza A, Pereira A, Ferreira da Costa N, et al. Conjugated linoleic acid (CLA): Effect modulation of body composition and lipid profile. *Nutricion hospitalaria*. 2009;24:422-8.
4. Dunchenko N, Yankovskaya V, Voloshina E, et al. Quality designing and food safety provisioning based on qualimetric forecasting. *Ciencia e Tecnologia de Alimentos* [Internet]. 2022 [cited 2023 Jun 1];42: Article 112021. Available from: <https://www.scielo.br/j/cta/a/t3xpZcWc3zjGwq8C4qKBBFn/?lang=en>. doi: 10.1590/fst.112021.
5. Anikienko TI, Dunchenko NI. [International experience in waste minimization in the agro-industrial complex and food industry]. *Pishchevaya promyshlennost'*. 2023;(9):57-9. Russian. doi: 10.52653/PPI.2023.9.9.010.
6. Dunchenko NI, Yankovskaya VS. A new approach to developing the quality of yoghurts with functional ingredients. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2022;52(2):214-21. doi: 10.21603/2074-9414-2022-2-2357.
7. Nikolaev BL. [Generalized dependencies for calculating the rheological characteristics of margarines]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya*. 2009;(9):30-2. Russian.
8. Bredikhin SA, Andreev VN, Martekha AN, et al. Investigation of the process of structure formation during ultrasonic homogenization of milk. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* [Internet]. 2022 [cited 2023 Jun 1];954: Article 012014. Available from: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/954/1/012014>. doi: 10.1088/1755-1315/954/1/012014.
9. Rakhimov DP, Salizhanova ShD, Ruzibaev AT. [Determination of the optimal temperature regime for cooling and crystallization in the production of margarine for puff pastry]. *Universum: khimiya i biologiya*. 2019;(12):95-9. Russian.
10. Saillard M. Margarines et matieres grasses tartinables. *Cahiers de Nutrition et de Dietetique*. 2010;45:274-80. doi: 10.1016/j.cnd.2010.08.001.
11. Tan CP, Cheman YB. Differential scanning calorimetric analysis of edible oils: Comparison of and chemical composition thermal properties. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 2012;77:143-55. doi: 10.1007/s11746-000-0024-6.
12. Mutovkina EA, Nazarova AP, Andreev VN, et al. [Dependence of the intensity of phase transitions on the fat content of margarine under various temperature influences]. In: *APK Rossii: obrazovanie, nauka, proizvodstvo* [Russian agro-industrial complex: education, science, production]. Penza (Russia): PGAU; 2023. p. 60-3. Russian.
13. Mutovkina EA, Bredikhin SA. Analysis of coffee thermophysical changes during roasting using differential scanning calorimetry. *Food science and Technology* [Internet]. 2023 [cited 2023 Jun 1];43: Article e119722. Available from: <https://www.scielo.br/j/cta/a/Ffv4BQ5nwkLLprXwNLvF8rP/?lang=en>. doi: 10.1590/fst.119722.
14. Saranov IA, Rudakov OB, Polyanskii KK. [Differential scanning calorimetry of cocoa butter and chocolate glaze]. *Vestnik VGUIT*. 2020;82(2):154-60. Russian. doi: 10.20914/2310-1202-2020-2-154-160.
15. Dunchenko N, Voloshina E, Kuptsova S, et al. Complex estimation of effectiveness of quality system processes at food industry enterprises. *Foods and Raw Materials*. 2018;6(1):182-90. doi: 10.21603/2308-4057-2018-1-182-190.