

**ВПЛИВ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ
НА ПРОЦЕСИ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ЖИРОВИХ КОМПОЗИЦІЙ
ПРИ ВИРОБНИЦТВІ СПРЕДІВ**

Майборода Ю.В., к.т.н.

зав. відділу масло- та сироробства

Інститут продовольчих ресурсів НААН, м. Київ, Україна

ORCID ID: 0000-0001-7127-383X

<https://doi.org/10.31073/foodresources2019-13-11>

Спреди, які виробляють підприємства молочної промисловості, продовжують займати досить широку нішу на комбінованих жирових продуктах. Відмінності в сировинному складі масла й комбінованих жирових продуктів є причиною іншої, за характером, кристалізації гліцеридів у процесі маслоутворення й впливають на процес формування структури готового продукту. Процес звернення фаз у спредах проходить значно повільніше, кристалізація гліцеридів триває вже в тарі, що спричиняє виникнення пороків структури й знижує якість готового продукту. У статті наведено дані досліджень впливу механічної обробки на процеси структуроутворення у процесі виробництва спредів. Установлено, що при підвищенні інтенсивності механічної обробки температурні піки твердіння жирових сумішей зміщуються до області підвищених температур. Різниця температурних піків масової кристалізації за механічного впливу у діапазоні швидкостей $\omega = 30 - 500 \text{ c}^{-1}$ може сягати 9°C. Визначено ефективні границі механічної обробки жирових сумішей. Механічна обробка дозволяє виключити небажані ефекти евтектичної кристалізації й провести її за істотно меншого переохолодження. Максимальний ефект досягається за питомої потужності обробки 160-200 Вт/кг. Дослідження залежності ефективності механічного впливу від розмірів і форми робочих органів установки показали, що форма й розміри мішалок не впливають на температури твердіння за умови рівноцінності впливу на систему робочих елементів. Основним критерієм, що визначає ефективність механічної обробки, є потужність, затрачена на одиницю продукту або питома потужність.

Ключові слова: *спред, замітник молочного жиру, механічна обробка, мішалка, кристалізація, питома потужність*

**THE INFLUENCE OF MECHANICAL TREATMENT ON THE PROCESSES
OF STRUCTURE FORMATION OF FAT COMPOSITIONS
IN THE PRODUCTION OF SPREADS**

Mayboroda Yurii, PhD Technics

Head of the Laboratory of Butter and Cheese Making

Institute of Food Resource of NAAS, Kyiv, Ukraine

ORCID ID: 0000-0001-7127-383X

<https://doi.org/10.31073/foodresources2019-13-11>

Spreads manufactured by dairy enterprises are continuing to occupy a fairly wide niche in the market of combined fatty products. Differences in the raw material composition of butter and combined fat products cause differences in the nature of the crystallization of glycerides in the process of butter formation and affect the process of formation of the structure of the finished

product. The process of phase reversal in spreads is much slower, crystallization of glycerides continues in packagings, which leads to the formation of structural defects and reduces the quality of the finished product. The article presents research data on the impact of machining on the processes of structure formation in the production of spreads. It was found that with an increase in the intensity of machining, the temperature peaks of solidification of fatty mixtures shift to the region of elevated temperatures. The difference in temperature peaks of mass crystallization during mechanical action at speeds of $\omega=30-500\text{ s}^{-1}$ can reach $9\text{ }^{\circ}\text{C}$. The effective boundaries of mechanical processing for fat mixtures are determined. Mechanical treatment makes it possible to exclude undesirable effects of eutectic crystallization and conduct it with significantly less overcooling. The maximum effect is achieved with a specific processing power of $160-200\text{ W/kg}$. Studies of the effectiveness mechanical action from the size and shape of the working bodies of the installation showed that the shape and size of the mixers do not affect the solidification temperature provided that the effects on the system of working elements are equivalent. The main criterion that determines the efficiency of mechanical machining is the power spent per unit of product or specific power.

Keywords: spread, milk fat replacer, mechanical processing, mixer, crystallization, specific power

Наразі широкого розповсюдження набуло виробництво комбінованих жирових продуктів, до жирової фази яких, поряд з молочним жиром, вносять замітники молочного жиру, що являють собою комбінації різних рослинних жирів та їхніх фракцій. Різновидом таких продуктів є спреди і жирові суміші. Відповідно до ДСТУ 4445:2005 [1], спред – це харчовий продукт, що складається із молочного та рослинного жиру, загальною жирністю не менш 50% вмістом молочного жиру не менш 25% від загального жиру і вмістом трансізомерів не вище 5%. У складі спредів широко застосовують пальмове масло та його фракції (пальмовий олеїн і стеарин), які є основними компонентами майже усіх замінників молочного жиру. Для виробництва спредів методом перетворення у промисловості застосовують таке ж обладнання (маслоутворювачі), що для виробництва вершкового масла. Водночас, відмінності у властивостях жирової сировини вимагають застосування інших технологічних параметрів і режимів виробництва, невірний вибір яких спричиняє пороки структури – крихкість, шаруватість, розтріскування моноліту, що істотно знижує якість і здатність до тривалого зберігання готового продукту.

Літературні дані щодо впливу механічної обробки на молочний жир (МЖ) [2-5], а також щодо структуроутворення композицій замінників молочного жиру (ЗМЖ) з МЖ [6-7] є нечисленними та фрагментарними. У роботах, присвячених вивченню твердіння жирових сумішей, майже не досліджений вплив параметрів механічної обробки на процеси структуроутворення, не наведено кількісних значень механічного впливу тощо. Автори висвітлюють, по суті, тільки якісний бік впливу обробки на твердіння. Отже, не є можливим зв'язати між собою параметри механічної обробки, її інтенсивності, з одного боку, і величини, що характеризують процеси структуроутворення, – з іншого. У зв'язку з викладеним, проведено дослідження процесів структуроутворення жирових композицій спредів під впливом механічної обробки, для визначення параметрів обробки й зниження факторів евтектичної кристалізації.

Метою роботи є створення наукової бази для визначення параметрів і технологічних режимів виробництва комбінованих жирових продуктів шляхом дослідження впливу механічної обробки на процеси структуроутворення жирових композицій, для вдосконалення технології й забезпечення одержання готового продукту гарантованої якості.

Матеріали й методи. Об'єктом досліджень були жирові композиції, що складаються із молочного жиру й замінників молочного жиру у співвідношеннях МЖ/ЗМЖ: 25/75; 50/50; і 75/25. Використовували зразки замінників молочного жиру, вироблених на трьох

великих масложирових підприємствах України, розташованих у Києві, Вінниці та Одесі: ЗМЖ Олмікс, ЗМЖ Віолія-молжир, ЗМЖ ЗТ.

Дослідження проводили на виготовленій в ІПР НААН експериментальній установці, яка моделює процеси маслоутворення у процесі термомеханічної обробки жирових систем. Було розроблено методику, засновану на запису температур твердіння рослинно-молочних сумішей безпосередньо в динаміці процесу термомеханічної обробки. Прозорість ємкості установки дозволяла візуально спостерігати за процесами фазових змін, які відбуваються у жирових системах у процесі їхньої обробки.

Основними обумовленими величинами були споживана питома потужність, яка витрачається на обробку, час обробки, температури і зони масової кристалізації жирових композицій. Під час досліджень інтенсивність обробки підвищували доти, доки значення температур масової кристалізації не ставали постійними.

У якості робочих органів установки використовували лопатеву мішалку, а також мішалку якірного типу, інтенсивність механічної обробки призначали у широкому діапазоні від 400-5000 об/хв. Швидкість охолодження становила $\approx 2^\circ\text{C}/\text{хв}$.

У статичних умовах твердіння комбінованих жирових сумішей, кількість твердої фази визначали методом об'ємної дилатометрії [7].

Математичну обробку отриманих результатів досліджень здійснювали з використанням обчислювальної техніки із використанням програм «Excel», «Harvard ChartXL», «Acad», точність обчислень і округлень визначали стандартними способами [8].

Результати й обговорення. У процесі термомеханічної обробки за температур 63-65 $^\circ\text{C}$ комбіновані жирові суміші мали прозору консистенцію від білого до жовтого кольору залежно від співвідношення МЖ і ЗМЖ. За температур 30-35 $^\circ\text{C}$ починали з'являтися перші кристали – спостерігалось незначне помутніння дослідних зразків. За температур 20-25 $^\circ\text{C}$ вже спостерігалось значне помутніння, зникала прозорість і за температур масової кристалізації жирові суміші ставали повністю непрозорими.

Типові криві впливу механічної обробки на жирові композиції показано на рис. 1.

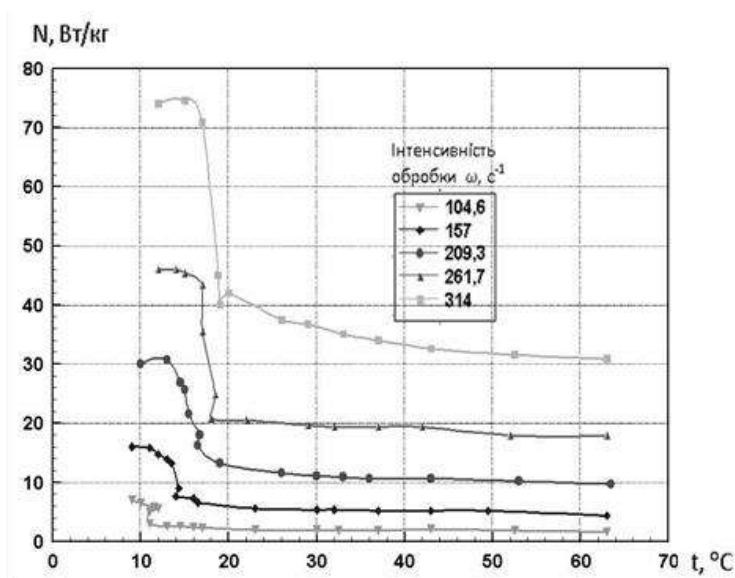


Рис. 1. Залежність питомої потужності від температури при різному впливі механічної обробки на жирову суміші ЗМЖ ЗТ 50% / МЖ 50%

За температур масової кристалізації потужність на якийсь час знижувалася у зв'язку з підвищенням температури та зміною в'язкості системи, й надалі йшло різке підвищення потужності. На цій ділянці мало місце утворення міжкристалічних зв'язків, з формуванням кристалічної решітки. Надалі у процесі механічної обробки відбувалося руйнування

міжкристалічних зв'язків, що приводило до незначного падіння потужності. У стані спокою зруйновані обробкою міжкристалічні зв'язки повністю або частково відновлюються.

У сенсі отримання продукту належної консистенції, вирішальну роль грає не загальний механічний вплив на високожирні вершки жирової суміші, а тривалість їхньої обробки в зоні кристалізації. Період досягнення температури нижче ніж зона масової кристалізації в об'ємі суміші можна умовно назвати зоною охолодження.

Ефекти масової кристалізації проявляються на температурних кривих у вигляді перегинів (зони екзотермічного підвищення температури), що і спричиняє незначне падіння потужності. Причому, у разі збільшенні інтенсивності обробки, початок твердіння зміщується в область підвищених температур, зони підвищення температури проявляються інтенсивніше, але час їхньої дії скорочується. Зона первинного структуроутворення характеризується різким зростанням потужності. Криві зміни питомої потужності у процесі механічної обробки також є відображенням зміни в'язкості жирової композицій. Водночас, необхідно враховувати, що це досить умовний розподіл, тому що процеси кристалізації протікають від самого початку впливу на суміші термомеханічної обробки. Як показує досвід, чим раніше настає зона кристалізації, чим нижче температура й тривалість їхньої обробки у зоні кристалізації жирової суміші, тим вище дисперсність, тим кращі умови для утворення в регульованих умовах структури коагуляційного типу й пластичної консистенції спреду.

Дослідження жирових сумішей у статичних умовах показали зменшення швидкості твердіння жирових композицій з деякими ЗМЖ порівняно з твердінням складових частин їхніх жирів, а також зниження в композиціях концентрації твердої фази тригліцеридів. Ці фактори обумовлені утворенням евтектичних розчинів (у рідкому стані) і евтектичних сумішей (у кристалічному стані).

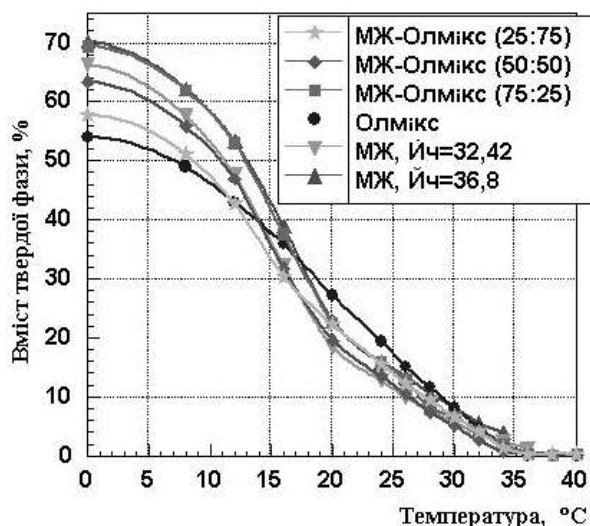


Рис. 2. Залежність вмісту твердої фази в жирових композиціях від температури

Аналіз кривих плавлення жирів (рис. 2) показує, що в області температур до 13 °C вміст твердої фази в композиціях перебуває у межах значень цього показника, характерних для вихідних компонентів, натомість за подальшого підвищення температури він падає нижче рівня, характерного для ЗМЖ Олмікс. Слабка евтектика спостерігалася у сумішах з ЗМЖ Віоля. Для сумішей із ЗМЖ 3Т евтектичний ефект не спостерігався.

Механічна обробка значно підвищує швидкість виникнення центрів кристалізації в результаті полегшення орієнтації молекул, а також диспергування кристалів, що утворилися, і лінійного росту їх у результаті прискорення процесу дифузії

У таблиці наведені показники питомої потужності обробки, яка забезпечує максимальні значення температур масової кристалізації (верхня границя обробки) та величини зниження переохолодження оброблюваних жирових композицій.

Таблиця 1

Показники питомої потужності

Найменування жиру і композицій	Питома потужність обробки, Вт/кг		Температура масової кристалізації, °С		Зниження температури переохолодження, °С
	початкова	кінцева	початкова	кінцева	
МЖ	1,0	210	12,8	20,5	7,7
ЗМЖ Віюлія	1,0	230	14	19	5,0
МЖ/Віюлія (50/50)	1,2	200	16	22	6,0
ЗМЖ Олмікс	1,4	200	13	21,5	8,5
МЖ/Олмікс (50/50)	1,4	200	15,5	21	5,5
ЗМЖ ЗТ	1,6	193	16,7	22	5,3
МЖ/ ЗТ (50/50)	1,6	150	12	21,5	9,5

Результати досліджень показали, що величина зниження переохолодження для заміників молочного жиру змінюється в межах від 5,0 °С до 8,5 °С, а для композицій молочного жиру із заміниками молочного жиру – від 5,5 °С до 9,5 °С, що дуже істотно. У всіх композиціях молочного жиру із заміниками механічна обробка забезпечила підвищення температур масової кристалізації суміші й наближення її до температур, характерних для більш високо-плавкого компоненту. Максимальний ефект досягається за питомої потужності обробки від 160 до 200 Вт/кг.

Для оцінювання ролі розмірів і форм робочих органів, а в остаточному підсумку потужності, яка витрачається на обробку, у досліджах застосовували мішалки якірного й лопатевого типів. Результати досліджень, виражені у вигляді залежності температур масової кристалізації від інтенсивності механічної обробки показали, що ефективність механічного впливу залежить від розмірів робочих органів пристрою, що перемішує: як видно з графіка на рис. 3 мішалка якірного типу є ефективнішою.

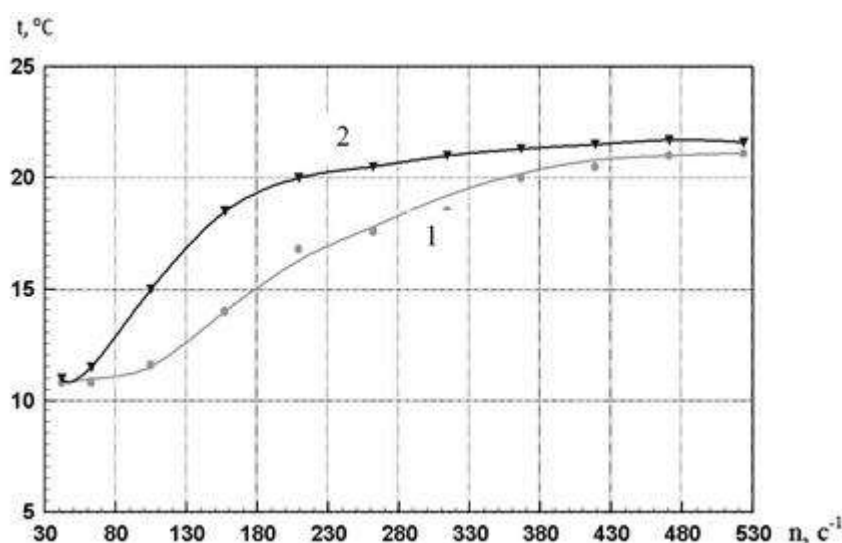


Рис. 3. Зміна температури масової кристалізації із збільшенням числа обертів мішалки (ЗТ 50%/МЖ 50%).

Залучені мішалки: 1 – лопатева (мала $S=360 \text{ мм}^2$); 2 – якірна (велика 567 мм^2)

Обробка даних експериментів у вигляді залежності температури масової кристалізації від питомої потужності механічного впливу приводить до сполучення дослідних даних для мішалок обох типів (рис 4). Це свідчить про те, що температурна зона твердіння жирових композицій, за інших рівних умов, визначається величиною енергетичних витрат на одиницю суміші. Питомі витрати енергії є універсальним показником механічного впливу. Результати досліджень показали, що нижній поріг обробки лежить у межах 10 , а верхній близько 200 Вт/кг.

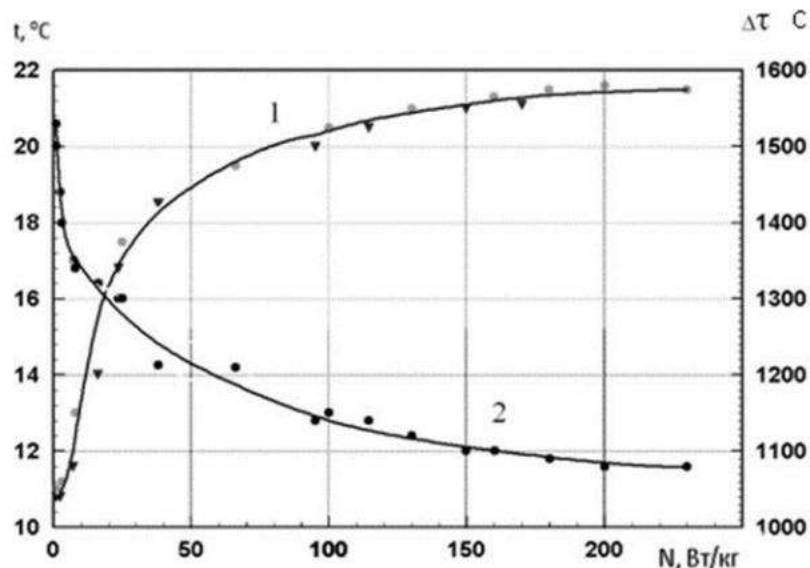


Рис.4 Залежність температури масової кристалізації (1) та часу переохолодження (2) від питомої потужності обробки

Інтенсивність процесів кристалізації характеризується не тільки температурою твердіння, але також і часом знаходження суміші в переохолодженому стані. Вплив механічної обробки на час знаходження жирової суміші в переохолодженому стані, вірніше на час до початку масової кристалізації, показано на Рис.4. Звідси можна зробити висновок, що збільшення потужності обробки істотно зменшує час обробки. Збільшення потужності обробки приводить також до зменшення виділення тепла під час наступної ізотермічної витримки. Це свідчить про більш повний завершений процес твердіння за умов механічного впливу.

Як було показано вище, прояв механічного впливу на твердіння починається з певної «граничної» потужності. Пояснення цього явища полягає у тому, що у разі деформації речовини, викликаної механічною обробкою, молекули, в більшій чи меншій мірі, розпрямляються, орієнтуючись уздовж лінії напруги. Таким чином, за постійної дії напруги перехід до кристалічного стану пов'язаний з меншою витратою енергії. Внаслідок зменшення загальної ентропії плавлення підвищується температура кристалізації порівняно з тією же речовиною в стані спокою. Таким чином, гранична потужність визначається як мінімальний вплив, що викликає орієнтацію молекул уздовж лінії напруги.

Висновки

Результати експериментальних досліджень дозволили зробити наступні висновки:

Механічна обробка забезпечує підвищення температур масової кристалізації композицій жирових сумішей й наближення її до температур, характерних для більш високо-плавкого компонента, що дає можливість виключити небажані ефекти евтектичної

кристалізації й провести її при істотно меншому переохолодженні. Максимальний ефект досягається за питомої потужності обробки від 160 до 200 Вт/кг.

Температурна зона твердіння жирових композицій, за інших рівних умов, визначається величиною енергетичних витрат на одиницю жирової суміші та не залежить від розмірів і форми робочих елементів. Питомі витрати енергії є універсальним показником механічного впливу на жирові системи.

Бібліографія

1. ДСТУ 4445:2005 Спреди і суміші жирові. Загальні технічні умови [Чинний від 2006-07-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2006. 22 с.
2. Гуляев-Зайцев С. С., Ереско Г. А. Особенности кристаллизации молочного жира под влиянием низкочастотных колебаний. Известия вузов. Пищевая технология, 1968, № 5, С. 88-91.
3. Гуляев-Зайцев С. С., Ереско Г. А. Отвердевание молочного жира под влиянием механической обработки. «Известия вузов. Пищевая технология», 1969, № 6, С. 52-55.
4. Gulyaev-Zaitsev S., Eresko G., Belousov A. The solidification of milk fat due to mechanical work. XVIII Int. Dairy Congress, Sydney, 1970, A. 4.2, P. 213.
5. Белоусов А. П., Гуляев-Зайцев С. С. К теории ускорения кристаллизации триглицеридов молочного жира при механической обработке. Сборник научных трудов УкрНИИТИ, 1987.
6. Ереско Г. О., Єрошенко С. І., Михайлик В. О., Парняков О. С. Фазові переходи в жирах та жирових композиціях. Продовольчі ресурси: зб.наук.праць. серія: Технічні науки. Ін-т прод.ресурсів НААН України. К., 2016, 6, 147-157.
7. Боднарчук О. В., Ереско Г. О., Кігель Н. Ф. Дослідження структурно-механічних характеристик спредів. Продовольчі ресурси. 2016. №7. с. 73-78.
8. Ереско Г. А., Работягова Л. И. Дилатометрический метод исследования отвердевания молочного жира: Республиканский межвед. научно-технич. сборник «Пищевая промышленность». Киев: Техника. 1977. №23. С. 61-64.
9. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука, 1978. 831 с.

References

1. DSTU 4445:2005 Spreidy i sumishi zhyrovi. Zahalni tekhnichni umovy. [Spreads and fat mixtures. General specifications]. [In force from 2006-07-01]. Offic. edition. Kyiv : Derzhspozhyvstandard Ukrainy, 2006. 22 p.
2. Gulyaev-Zajcev, S., Eresko, G. Osobennosti kristallizacii molochnogo zhira pod vliyaniem nizkochastotnyh kolebanij. [Peculiarities of milk fat crystallization when effected by low frequency]. Izvestiya vuzov. Pishevaya tehnologiya. [Proceedings of universities. Food technology], 1968, № 5, P. 88-91.
3. Gulyaev-Zajcev, S., Eresko, G. Otverdevanie molochnogo zhira pod vliyaniem mehanicheskoy obrabotki. [Solidification of milk fat due to mechanical treatment]. Izvestiya vuzov. Pishevaya tehnologiya. [Proceedings of universities. Food technology], 1969, № 6, P. 52-55.
4. Gulyaev-Zaitsev, S., Eresko, G., Belousov, A. The solidification of milk fat due to mechanical work. XVIII Int. Dairy Congress, Sydney, 1970, A. 4.2, P. 213.
5. Belousov, A., Gulyaev-Zajcev, S. K teorii uskoreniya kristallizacii trigliceridov molochnogo zhira pri mehanicheskoy obrabotke. [On the theory of acceleration of milk fat triglycerides during mechanical treatment]. Sbornik nauchnyh trudov UkrNIINTI. [Collection of scientific works of UkrNIINTI], 1987.
6. Yeresko, G., Yeroshenko, S. Mihajlik, V., Parnyakov, O. Fazovi perehodi v zhirah ta zhirovih kompoziciyah. [Phase transitions in fats and fat compositions]. Prodovolchi resursi:

zb.nauk.prac. seriya: Tehnichni nauki. [Food Resources. Collection of scientific works Series Technical sciences]. K., 2016, 6, 147-157.

7. Bodnarchuk, O., Yeresko, G., Kigel, N. Doslidzhennya strukturno-mehanichnih harakteristik sprediv. [Investigation of structural and mechanical properties of spreads]. Prodovolchi resursi. [Food Resources], 2016, 7, 73-78.

8. Eresko, G., Rabotyagova, L. Dilatometricheskij metod issledovaniya otverdevaniya molohnogo zhira. [Dilatometric method of research of milk fat solidification]. Respublikanskij mezhved. nauchno-tehnich. sbornik «Pishevaya prmyshlennost». [Republican inter-institutional scientific and technical collection "Food industry"]. Kyiv: Tehnika. 1977, 23, 61-64.

9. Korn, G., Korn, T. Spravochnik po matematike dlya nauchnyh rabotnikov i izhenerov. [Reference-book on mathematics for scientific workers and engineers]. M.: Nauka, 1978. 831 p.