

УДК 637.23

**ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСІВ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ  
МОЛОЧНО-РОСЛИННИХ КОМПОЗИЦІЙ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ СПРЕДІВ****Майборода Ю.В.<sup>1</sup>**, к.т.н.

провідний науковий співробітник відділу масло- та сироробства

<https://orcid.org/0000-0001-7127-383X><sup>1</sup>Інститут Продовольчих Ресурсів НААН, Київ, Україна<https://doi.org/10.31073/foodresources2021-17-09>

**Мета.** Отримання наукової бази для визначення параметрів і технологічних режимів виробництва комбінованих жирових продуктів шляхом дослідження впливу механічної обробки на процеси структуроутворення жирових систем, для вдосконалення технології й одержання продукту гарантованої якості. **Методи.** Об'єктом досліджень були жирові композиції спредів. Дослідження проведені на установці, яка моделює процеси маслоутворення при термомеханічній обробці жирових сумішей. Основними обумовленими величинами були: питома потужність, час обробки, температури, зони масової кристалізації, в'язкість. Твердіння жирових сумішей, кількість твердої фази визначали методом об'ємної дилатометрії. Структурно-механічні властивості - методом пенетрації. **Результати.** Досліджено процеси структуроутворення жирових композицій при механічній обробці з метою більш повного завершення процесу маслоутворення й запобігання вад готового продукту. Механічна обробка надає суттєвий вплив на формування структури твердої фази, що значно підвищує швидкість виникнення центрів кристалізації у результаті полегшення орієнтації молекул, а також диспергування кристалів, що утворилися, і росту їх у результаті прискорення процесу дифузії. Отримано взаємозв'язок між механічною обробкою і показниками процесу маслоутворення. Встановлені значення питомої потужності обробки, які забезпечують інтенсифікацію процесу маслоутворення. **Висновки.** При виробництві спредів й складанні рецептур треба прагнути використання замінників молочного жиру отриманих методом переетерифікації. Механічна обробка забезпечує підвищення температур масової кристалізації жирових сумішей й наближення їх до температур, характерних для більш високоплавкого 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. Питомі витрати енергії є універсальним показником механічного впливу на жирові системи.

Ключові слова: замінники молочного жиру, молочний жир, жирові композиції, механічна обробка, питома потужність, температура масової кристалізації.

**INTENSIFICATION OF STRUCTURE FORMATION PROCESSES OF DAIRY-  
VEGETABLE COMPOSITIONS IN THE PRODUCTION OF SPREADS****Yurii Maiboroda<sup>1</sup>**, PhD, Technics, Leading Researcher,

Department of Butter and Cheese Production

<https://orcid.org/0000-0001-7127-383X><sup>1</sup>Institute of Food Resource of NAAS, Kyiv, Ukraine<https://doi.org/10.31073/foodresources2021-17-09>

**Goal.** Creating a scientific basis for determining the parameters and technological modes of production of combined fat products by studying the impact of machining on the processes of structuring fat systems, to improve technology and obtain a product of guaranteed quality. **Methods.** The object of research were fat constituents of spreads. The research was carried out on an installation that simulates the processes of structure formation during thermo mechanical treatment of fat mixtures. The main predetermined values were: specific power, processing time, temperature, mass crystallization zones, viscosity. Solidification of fat mixtures, the amount of solid phase was determined by volumetric dilatometry. Structural and mechanical properties - by penetration method. **Results.** The processes of structure formation of fat compositions during machining have been studied in order to complete the process of oil formation and prevent defects of the finished product. Machining has a significant effect on the formation of the structure of the solid phase, which significantly increases the rate of crystallization centers by facilitating the orientation of molecules, as well as dispersing the formed crystals and their growth by accelerating the diffusion process. The relationship between machining and indicators of the process of structure formation is obtained. The values of specific processing power are set which provide intensification of spread production. **Conclusions.** Milk fat substitutes obtained by transesterification should be used in the production of spreads and formulations. Machining helps to increase the temperature of mass crystallization of fat mixtures and bring them closer to the temperature characteristics of the high-melting component, which eliminates the dangerous consequences of eutectic crystallization and conducts it with much less super cooling. The maximum effect is achieved for Machining has power from 160 to 200 W/kg. Specific energy consumption is a universal indicator of mechanical impact on fat systems.

**Key words:** milk fat substitutes, milk fat, fat compositions, machining, specific power, mass crystallization temperature.

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 теж саме обладнання (маслоутворювачі різних конструкцій), що і 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) [2-4], а також щодо структуроутворення композицій замінників молочного жиру (ЗМЖ) з МЖ [5-9] є фрагментарними. У роботах 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 кінетики процесів структуроутворення жирових композицій під впливом механічної обробки, для визначення параметрів обробки й зниження факторів евтектичної кристалізації.

**Метою роботи** є отримання наукової бази для визначення параметрів і технологічних режимів виробництва комбінованих жирових продуктів шляхом дослідження впливу термомеханічної 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 склалися із молочного жиру й замінників молочного жиру із різними співвідношеннями (МЖ/ЗМЖ). У якості матеріалу використовували зразки МЖ та ЗМЖ вироблених на трьох великих масложирових підприємствах України (Києва, Вінниці та Одеси).

Дослідження проводили на виготовленій в ІПР НААН експериментальній установці, яка моделює процеси маслоутворення під впливом термомеханічної обробки, різної інтенсивності, жирових систем. Розроблено методика, засновану на запису температур твердіння рослинно-молочних сумішей безпосередньо в динаміці процесу термомеханічної обробки. Прозорість ємкості установки дозволяла візуально спостерігати за процесами фазових змін, у процесі їхньої обробки.

Основними обумовленими величинами були споживана питома потужність, яка витрачається на обробку, час обробки, температури, зони масової кристалізації жирових композицій та в'язкість. У якості робочих органів використовували лопатеву і якірну мішалки. Інтенсивність обробки підвищували доти, доки значення температур масової кристалізації не ставали постійними. Швидкість охолодження становила від  $2\div 4$  °C/хв.

У статичних умовах твердіння комбінованих жирових сумішей, кількість твердої фази визначали методом об'ємної дилатометрії [10].

Консистенцію та структурно-механічні властивості спредів [11] визначалися за допомогою мікроскопу та методом пенетрації – використовували універсальне автоматичне обладнання «Stanhope-Seta».

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

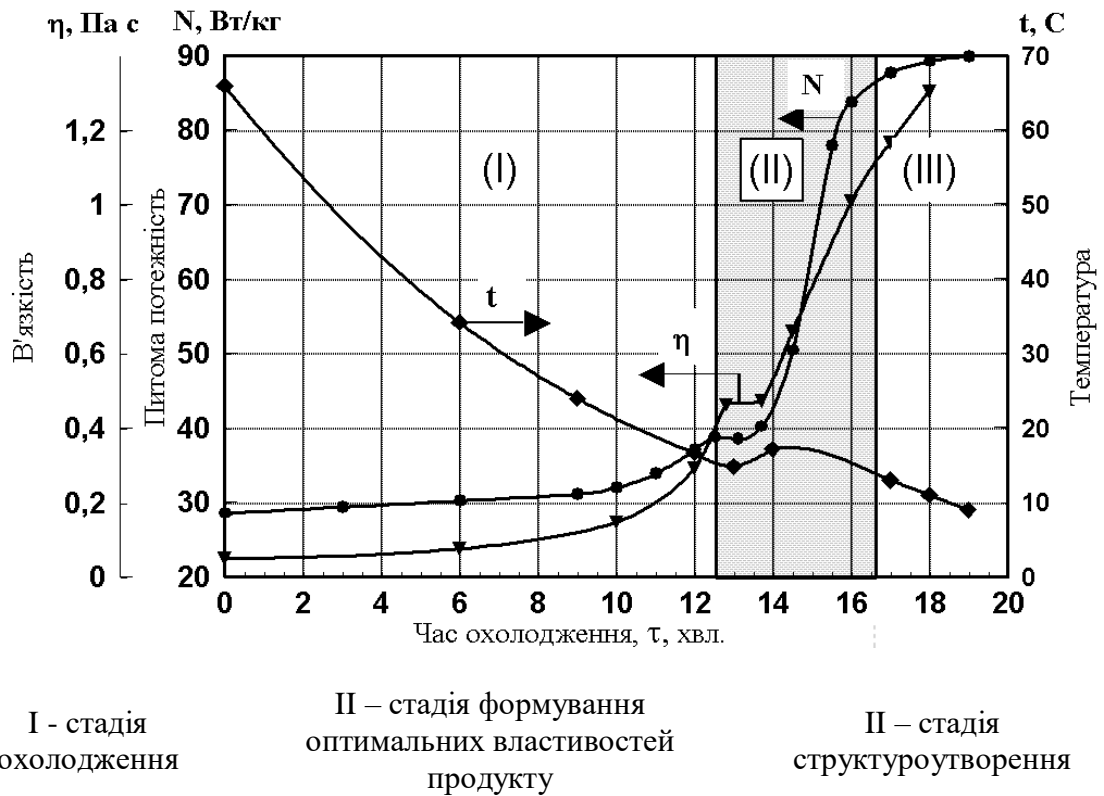
**Результати й обговорення.** Результати закономірностей твердіння – плавлення жирових композицій МЖ/ЗМЖ у статичних умовах показали уповільнення швидкості твердіння жирових композицій по відношенню із твердінням їх складових частин, істотне зниження кількості твердої фази тригліцеридів по відношенню до очікуваної. Цей фактор проявляється як у процесі виділення твердої фази, та й після встановлення стану рівноваги. Даний фактор обумовлений утворенням евтектичних розчинів (у рідкому стані) і евтектичних сумішей (у кристалічному стані). Евтектика проявляється переважно у сумішах, які включали ЗМЖ, отримані методом гідрогенізації. З додаванням ЗМЖ, отриманих методом переестерифікації, у жирові композиції ефекти евтектики не спостерігалися. Механічна обробка суттєво впливає на формування структури твердої фази, 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.

Дослідження впливу механічної обробки на структуроутворення жирових систем вимагає вибору об'єктивного параметра, що характеризує протікання зазначеного процесу. Попередній досвід роботи показав, що в якості такого параметру можна використовувати температури масової кристалізації.

Типові криві кінетики процесу структуроутворення від основних параметрів процесу при термомеханічній обробці молочно-рослинної композиції при виробництві спредів зображено на рис 1.

Процес структуроутворення під дією термомеханічного впливу можливо умовно поділити на 3 стадії. Перша (I) стадія процесу – стадія охолодження – під впливом охолодження й інтенсивної механічної обробки високожирних рослинно-молочних

вершків відбувається додаткове емульгування жиру й зміна ступеня дисперсності жирової фази, в'язкість продукту та потужність збільшується незначно. Крива зміни питомої потужності жирових систем при обробці є відображенням зміни в'язкості жирових композицій. У дрібнодисперсній жировій фазі, спостерігається початкове твердіння тригліцеридів. У безперервній жировій фазі виникає критична концентрація твердого жиру. Цей стан є перехідним до другої (II) стадії процесу й характеризується перегином кривої в'язкості і потужності у бік підвищення. Одержаний продукт має виражену грубо-кристалізаційну структуру, із властивою їй високою міцністю, крихкістю й консистенцією, яка кришиться.



**Рис.1. Залежність зміни в'язкості, питомої потужності обробки й температури при термомеханічній обробці композиції ЗМЖ(Олмікс)/Мж (50%/50%)**

На початку другої стадії формуються типові структури кристалізаційного типу, а до кінця стадії – продукт вже має переваги слабких когуляційних контактів і властивої йому пластичності й майже повної тиксотропною відновленістю. На другій стадії процесу формуються початкові оптимальні властивості готового продукту.

У результаті подальшої обробки консистенція готового продукту послідовно змінюється – від грубокристалічної і крихкої до пластичної легкодеформованої при підвищених температурах і малих навантаженнях.

Структурно-механічні властивості жирових композицій багато в чому визначаються кількістю твердої фази. Однак, не менш важливим фактором для властивостей продукту є якісний характер структури, тобто перевага коагуляційних або кристалічних елементів. Останні залежать головним чином від механічної обробки, який піддається продукт на різних стадіях виробництва.

Як впливає з наведеного рисунку, стрімке наростання в'язкості, що характеризує початок структуроутворення системи, відбувається в зоні масової кристалізації. Останнє підтверджується екзотермічним ефектом на температурній кривій. Характер функції



$N=f(\tau)$  визначається зміною в'язкості жирової системи, що очевидно, тому що обробка ведеться при постійному числі обертів робочого органа (мішалки). Це добре погоджується із даними експерименту й ілюструється кривими в'язкості  $\eta$  і питомої потужності  $N$ . Пологі площадки на температурній, кривій в'язкості та потужності у районі (13 хв.) обумовлені, очевидно, зниженням швидкості структуроутворення в результаті екзотермічного підвищення температури оброблюваного продукту.

Збільшення інтенсивності обробки (потужності) зміщує початок процесу структурування (розташованого у зоні температур масової кристалізації) системи в область більш високих температур. Величина наростання в'язкості тим вище, чим менше  $N$ . Це обумовлено руйнуючою дією обробки й різним градієнтом швидкості. Примітно, що довжина горизонтальних площадок, що відповідають екзотермічним ефектам твердіння, перебуває у зворотній залежності від величини потужності.

У таблиці 1 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	19,5	6,7
ЗМЖ Віолія	1,0	230	14	19	5,0
МЖ/Віолія (50/50)	1,2	200	16	22	6,0
ЗМЖ Олікс	1,4	200	13	21,5	8,5
МЖ/Олікс (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 під дією механічного впливу для замінників молочного жиру змінюється в межах від 5,0°С до 8,5°С, а для композицій МЖ/ЗМЖ – від 5,5°С до 9,5°С, що дуже істотно. Слід зазначити, що співвідношення 50/50 у композиціях є найгіршим співвідношенням, яке викликає аномальні ефекти кристалізації. В усіх композиціях МЖ із ЗМЖ механічна обробка забезпечила підвищення температур масової кристалізації суміші й наближення її до температур, характерних для більш високоплавкого компоненту. Із цього можна зробити висновок, що механічна обробка 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 й тим самим дозволяє інтенсифікувати процеси маслоутворення.

Отримані результати підтверджується структурно-механічними дослідженнями спредів виготовлених у виробничих умовах на пластинчатому маслоутворювачі марки Я5-ОМС із ступенем механічної обробки зазначеними вище. Реологічні характеристики служать як міра реологічних властивостей матеріалу й відбивають його здатність деформуватися в заданих умовах випробування. Структурно-механічні властивості спредів на різних стадіях маслоутворення характеризували граничною напругою зсуву - міцністю структури [11], заснованим на зануренні конуса у в'язко пластичне середовище під дією постійної сили, що визначали за допомогою автоматичного пенетрометра. Граничну напругу зсуву розраховували за даними досліджень за формулою:

$$P_m = 3800 \cdot h^{-1,26}$$

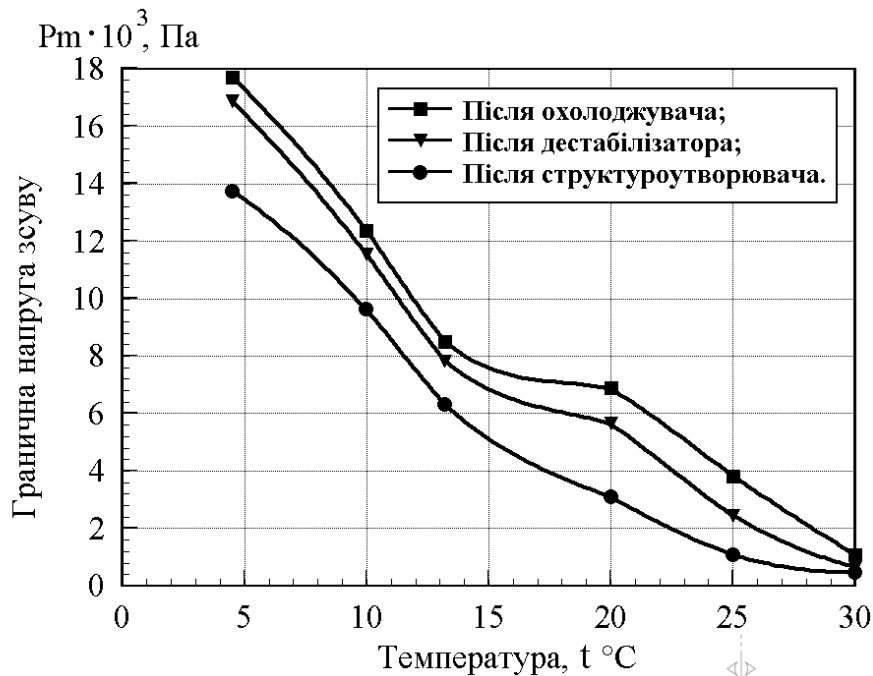
де:  $h$  - глибина проникнення конуса пенетрометра;

$P_m$  - гранична напруга зсуву, Па.

Граничну напруга зсуву визначали в діапазоні температур  $30 \pm 4,5^\circ\text{C}$

Дослідження структурно-механічних властивості спреду на різних стадіях маслоутворення у масловиготовлювачі Я5-ОМС із візуально хорошою консистенцією представлено на рис.2.

Дослідження показали, що після охолодження міцність структури найбільш висока - характер структури переважно грубо-кристалічний або кристалічний. Після дестабілізатора (коротко часова інтенсивна механічна обробка) гранична напруга зсуву може зменшуватися від  $5 \div 15\%$  і вже після механічної обробки у пакеті структуроутворювача із обробкою питомої потужності в межах  $185 \pm 5$  Вт/кг перевагами структури є коагуляційно-кристалічні елементи. Граничну напругу зсуву при  $20^\circ\text{C}$  для спреду порядку  $3,5 \div 4 \cdot 10^3$  Па, вже можна зіставити із вершковим маслом із хорошою консистенцією [3].



**Рис.2. Залежність граничної напруги зсуву ( $P_m$ ) спредів жирністю 72,5% із вмістом молочного жиру 50% від температури**

У ряді випадків для одержання високоякісного продукту інтенсивність механічної обробки в агрегатах установки виявляється недостатньою. Це спостерігається при виробництві маргарину і масла зі зниженим вмістом жиру ( $40 \div 60\%$ ) у рідко-подібному виді з фасуванням його у тверду споживчу тару. У цьому випадку бажану консистенцію й гарне диспергування вологи при високому її вмісті, можливо, одержати, застосовуючи додатковий агрегат – обробник, що встановлюється на виході продукту із апарату. Однак це приводить до збільшення витрат енергії при виробництві таких продуктів на 15-20%.

За результатами досліджень розроблені, апробовані й прийняті до використання, рекомендації технологічних режимів і параметрів регулювання роботи обладнання по виробництву спреда, маргарину та масла на пластинчастих установках марки Я5-ОМС методом перетворення високожирних вершків.

**Висновки**

Результати досліджень дозволили зробити наступні висновки.

При виробництві жирових композицій спредів і складання рецептур треба прагнути використання заміників молочного жиру отриманих методом переестерифікації, що виключає аномальні ефекти кристалізації.

Механічна обробка забезпечує підвищення температур масової кристалізації композицій жирових сумішей й наближення її до температур, характерних для більш високоплавкого компоненту, 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. Отвердевание молочного жира под влиянием механической обработки. *Известия вузов. Пищевая технология*. 1969. № 6. С. 52-55.
3. Гуляев-Зайцев С.С. Физико-химические основы производства масла из высокожирных сливок: Монография. Москва: Пищевая промышленность. 1974. 134 с.
4. Белоусов А.П., Гуляев-Зайцев С.С. К теории ускорения кристаллизации триглицеридов молочного жира при механической обработке. *Сборник научных трудов УкрНИИИТИ*. 1987. 261 с.
5. Твердохлеб А.В. О производстве спредов с точки зрения маслодела. *Продукты и ингредиенты*. 2008. №5. С. 64-67.
6. Ишмаева В.А., Степанова Л.И. Предотвращаем возникновение пороков в спредах. *Переработка молока*. 2016. № 9. С. 50-51.
7. Ереско Г.О., Єрошенко С.І., Михайлик В.О., та ін. Фазові переходи в жирах та жирових композиціях. *Продовольчі ресурси*. 2016. №6, с. 147-157.
8. Ереско Г.О., Єрошенко С.І., Артемонов Д.В. и др. Вязкость заменителей молочного жира при температуре кристаллизации. *Молочная индустрия*. 2016. №1. С. 52-55.
9. Боднарчук О.В., Ереско Г.О., Кігель Н.Ф. Дослідження структурно-механічних характеристик спредів. *Продовольчі ресурси*. 2016. №7. с. 73-78.
10. 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.
11. Черевко О. І., Михайлов В. М., Маяк В. І. та ін.. Реологія в процесах виробництва харчових продуктів: навч. посібник: у 2 ч. Ч. 1. Харків: Харк. держ. ун-т. харчування та торгівлі. 2014. 244 с.

**References**

1. DSTU 4445:2005 Spreedy i sumishi zhyrovi. Zahalni tekhnichni umovy. [Spreads and fat mixtures. General specifications]. [In force from 2006-07-01]. Vyd. ofits. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy. [Offic. edition. Kyiv: Derzhspozhyvstandard Ukrainy]. 2006. 22 p. [in Ukrainian]
2. Gulyaev-Zaycev S.S., Eresko G.A. (1969) Otverdevanie molochного zHIRa pod vliyaniem mekhanicheskoy obrabotki. [Solidification of milk fat due to mechanical treatment].

Izvestiya vuzov. Pishhevaya tehnologiya. [Proceedings of universities. Food technology]. № 6. P. 52-55. [in Russian].

3. Gulyaev-Zaytsev S.S. (1974). Fiziko-khimicheskie osnovy proizvodstva masla iz vysokozhirnykh slivok. [Physicochemical bases of butter production from high-fat cream]: monografiya. Moskva: Pishchevaya promyshlennost. [monograph. Moscow: Food Industry]. 134 p. [in Russian].

4. Belousov A.P., Gulyaev-Zajcev S.S. (1987) K teorii uskoreniya kristallizatsii trigliceridov molochnogo zhira pri mehanicheskoy obrabotke. [On the theory of acceleration of milk fat triglycerides during mechanical treatment]. Sbornik nauchnykh trudov UkrNIINTI. [Collection of scientific works of UkrNIINTI]. 261 p. [in Russian].

5. Tverdokhleba A.V. (2008) O proizvodstve spredov s tochki zreniya maslodela. [Production of spreads from the point of view of buttermakers]. Produkty i ingredienty. [Products and ingredients]. № 5. P.64-67. [in Russian].

6. Ishmaeva V.A., Stepanova L.I., (2016). Predotvrashchaem vozniknovenie porokov v spredakh. [Preventing defects in spreads]. Pererabotka moloka. [Milk processing]. №9. P. 50-51. [in Russian].

7. Yeresko G.O., Yeroshenko S.I. .Mihajlik V.O., Parnyakov O.S. (2016). Fazovi perehodi v zhirah ta zhirovih kompozitsiyah. [Phase transitions in fats and fat compositions]. Prodovolchi resursi. [Food Resources]. №6. P. 147-157. [in Ukrainian].

8. Yeresko G.O., Yeroshenko S.I., Artemonov D.V. ta in. (2016). Vyazkost zameniteley molochnogo zhira pri temperature kristallizatsii. [Viscosity of milk fat substitutes at crystallization temperature]. Molochnaya industriya. [Dairy industry]. №1. P. 52-55. [in Russian].

9. Bodnarchuk, O. V., Yeresko, G. O., Kigel N. F. (2016) Doslidzhennya strukturno-mechanicheskikh harakteristik sprediv. [Investigation of structural and mechanical properties of spreads]. Prodovolchi resursi. [Food Resources]. №7. P. 73-78. [in Ukrainian].

10. Yeresko, G.A., Rabotyagova, L.I. (1977) Dilatometricheskij metod issledovaniya otverdevaniya molochnogo zhira. [Dilatometric method of research of milk fat solidification]. Respublikanskij mezhved. nauchno-tehnich. sbornik "Pishhevaya prmyshlennost". [Republican inter-institutional scientific and technical collection "Food industry"]. Kyiv: Tehnika". №23. P. 61-64. [in Russian].

11. Cherevko O. I., Mykhailov V. M., Maiak V. I. ta in. (2014) Reolohiia v protsesakh vyrobnytstva kharchovykh produktiv. [Rheology in food production processes]. Navch. posibnyk: u 2 ch. Ch. 1. Kharkiv: Khark. derzh. un-t. kharchuvannia ta torhivli. [textbook manual: at 2 p.m. Part 1. Kharkiv: Kharkiv. state un-t. food and trade]. 244 p. [in Ukrainian].