

ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИРОБНИЦТВА
ФЕРМЕНТОВАНОГО ПРОДУКТУ З КОМБІНОВАНИМ СКЛАДОМ СИРОВИНИ

Андреус С. М., здобувач наукового ступеня

<https://orcid.org/0000-0002-8840-4100>

Романчук І. О., д.т.н., с.н.с.

заст. директора з наукової роботи

<https://orcid.org/0000-0002-3988-0717>

Інститут продовольчих ресурсів НААН, м. Київ, Україна

<https://doi.org/10.31073/foodresources2022-19-02>

Предмет дослідження. Одним із перспективних напрямків розширення асортименту продукції молочної галузі є створення комбінованих продуктів з одночасним використанням сировини молочного та рослинного походження, що дозволяє не тільки заощаджувати молочну сировину але й отримувати продукти підвищеної біологічної цінності, збалансовані за жирнокислотним складом. Продукти з частковою заміною молочного жиру на рослинний зайняли певну нішу на ринку харчових продуктів та мають своїх споживачів. Зацікавленість до виробництва молочних продуктів зі складним жировим складом зумовлена формуванням нових поглядів на раціональне харчування, розвитком сучасних технологій, дефіцитом якісної молочної сировини та високою його вартістю, ростом конкуренції з боку імпоротної продукції. Це не тільки продукти зі збалансованим співвідношенням ціна-якість, а й продукти здорового харчування, що задовольняють певні вимоги споживача щодо жирового складу продуктів. **Мета.** Обґрунтувати й оптимізувати технологічні параметри виробництва ферментованих продуктів з комбінованим складом сировини. **Методи.** Задачею дослідження визначено встановлення оптимальних режимів пастеризації суміші з комбінованим складом сировини на основі вершків і рослинного жиру з масовою часткою загального жиру 25% та термомеханічного оброблення отриманого ферментованого згустку для одержання якісного продукту тривалого зберігання. Експеримент з оптимізації визначених режимів проводився за температури пастеризації суміші в межах 65-95°C з кроком 5°C, температура термомеханічного оброблення ферментованої вершково-рослинної згустку – в межах від 30-70°C з кроком 10°C. За результуючі фактори якості готового продукту було обрано вологоутримувальну здатність (ВУЗ) і дисперсність. Оброблення отриманих експериментальних даних проводили за допомогою програми MathCad 2000. **Результати.** Встановлено, що за підвищення температури пастеризації суміші зростає ВУЗ і збільшується дисперсність згустку під час термомеханічного оброблення. Застосування методу сіток дозволило визначити оптимальні параметри оброблення вершково-рослинної суміші та ферментованого вершково-рослинного згустку, а саме, пастеризація вершків повинна відбуватися за температури 95°C; термізація згустку – за температури 70°C. Дослідження якісних показників ферментованого молочножирового продукту з вмістом жиру 25% дозволили встановити гарантований термін зберігання 21 добу. **Сфера застосування результатів.** Визначені оптимальні режими пастеризації вершково-рослинної суміші і термізації ферментованого вершково-рослинного згустку дозволять отримати готовий продукт з гомогенною, щільною та стабільною структурою без відділення сироватки і прийнятними органолептичними показниками, а також забезпечити належну мікробіологічну чистоту впродовж тривалого зберігання. Отримані результати наукового дослідження необхідні для впровадження технології ферментованого молочножирового продукту з комбінованим складом тривалого зберігання у молокопереробній галузі.

Ключові слова: ферментований продукт з комбінованим складом сировини, вершки, замінники молочного жиру, ферментований згусток, оптимізація, температура оброблення, вологоутримувальна здатність, дисперсність

OPTIMIZATION OF THE TECHNOLOGICAL PARAMETERS FOR PRODUCTION OF THE FERMENTED PRODUCT WITH COMBINED COMPOSITION OF RAW MATERIALS

*Svitlana Andreus, PhD., Senior Researcher,
Department of Dairy Products and Baby Food
<https://orcid.org/0000-0002-8840-4100>*

*Iryna Romanchuk, D-r of Sciences, Technics, Senior Researcher,
Deputy Director
<https://orcid.org/0000-0002-3988-0717>*

¹Institute of Food Resources of the NAAS, Kyiv, Ukraine

<https://doi.org/10.31073/foodresources2022-19-02>

Subject of research. One of the promising directions for obtaining products of increased biological value, as well as expanding the assortment products of the dairy industry, is the creation of combined products with the simultaneous use of raw materials of dairy and plant origin. Products with partial substitution of milk fat for vegetable fat occupy their place in the food market and have their consumers. Interest in the production of dairy products with a complex fat composition is due to the formation of new views on rational nutrition, the development of modern technologies, the shortage of high-quality dairy raw materials and its high cost, and the growth of competition from imported products. These are not only products with a good price-quality ratio, but also healthy food products that meet certain consumer requirements regarding the fat content of products. **Purpose.** Justification and optimization of technological parameters of the production of fermented milk fat products with a combined composition long-term storage. **Methods.** The goal of the research was to establish the optimal modes of pasteurization of a mixture with a complex fat composition and thermomechanical processing of a fermented cream-vegetable curd with a fat content of 25% to obtain a high-quality product for long-term storage. The experiment on the optimization of the defined modes was carried out at the pasteurization temperature of the cream-vegetable mixture in the range of 65-95°C with a step of 5°C, the temperature of thermomechanical processing of the fermented cream-vegetable curd – in the range of 30-70°C with a step of 10°C. The resulting factors of the quality of the finished product were chosen as the moisture-retaining capacity (MRC) and dispersity. Processing of the obtained experimental data was carried out using the program MathCad 2000. **Results.** It was established that increasing the pasteurization temperature of cream increases the MRC and improves the dispersity of the clot during thermomechanical processing. The application of the mesh method made it possible to determine the optimal processing parameters of cream and fermented milk fat curd, namely, pasteurization of cream should be at a temperature of 95°C; thermalization of the clot – at temperature 70°C. Research on the quality indicators of the fermented milk fat product with a fat content of 25% allowed to establish a shelf life of 21 days. **Scope of research results.** The determined optimal modes of pasteurization of the cream-vegetable mixture and thermization of the fermented cream-vegetable clot will allow to obtain a finished product with a homogeneous, dense and stable structure without separation of whey and flawless organoleptic indicators, as well as to ensure microbiological purity during long-term storage. The obtained results of the scientific research are necessary for the introduction of the technology of fermented milk fat product with a combined long-term storage composition in the milk processing industry.

Key words: fermented milk-fat product, cream-vegetable mixture, fermented cream-vegetable clot, optimization, processing temperature, moisture retention capacity, dispersion

Постановка проблеми. Технологія виробництва термізованих ферментованих продуктів тривалого зберігання складається з таких етапів: пастеризація вихідної молочної суміші, внесення заквашувального препарату та сквашування до певного рівня активної кислотності, внесення стабілізатора структури, повторне теплове оброблення сквашеної суміші, охолодження та пакування. Така технологія забезпечує інактивацію ферментів та заквашувальних мікроорганізмів в сквашеному продукті, завдяки чому припиняється процес ферментації. Одержаний у такий спосіб продукт характеризується стабільним рівнем кислотності, належними мікробіологічними показниками, що забезпечують йому довготривалий термін зберігання [1, 2].

Відомо, що під час нагрівання вершків відбуваються незворотні зміни їх фізико-хімічних властивостей, а саме, змінюються в'язкість та поверхневий натяг. При цьому вершки набувають специфічного смаку, аромату та кольору. Під час пастеризації проходить невелика дестабілізація емульсії жиру, а частина жиру виділяється у вільному вигляді. Зміна структури емульсії жиру стається в результаті денатурації білкових речовин оболонки жирових кульок і зниженням, тим самим, її стабілізуючих властивостей. Під час пастеризації за високих температур (92-98°C) посилюється утворення реактивноздатних сульфгідрильних груп (SH-), знижується окислювально-відновлювальний потенціал плазми та утворюється ряд летких речовин, які надають вершкам виражений присмак пастеризації, що так високо цінять споживачі [3, 4].

Проведення теплового оброблення кисломолочних продуктів після сквашування – один із шляхів підвищення їх стійкості та стабільності у разі тривалого зберігання, що забезпечує поліпшення мікробіологічних показників. Для збільшення терміну зберігання кисломолочних продуктів за рахунок теплового оброблення встановлено умови, яких потрібно дотримуватися: рівень значення активної кислотності продукту, вміст жиру, білка, вуглеводів, режими теплового оброблення, спосіб пакування, вид стабілізатора тощо. Встановлено, що за активної кислотності нижче 4,0 од. рН можна виконувати термізацію кисломолочного згустку без застосування стабілізатора. Водночас рекомендується проводити заквашування не до визначеної величини активної кислотності, а дещо вищої і вже потім регулювати значення активної кислотності із застосуванням лимонної кислоти. Якщо кисломолочні продукти з вмістом жиру 20% мають значення активної кислотності в межах 4,6-4,7 од. рН, то такі продукти також можна термізувати без застосування стабілізаторів, але їх теплове оброблення може ускладнюватись високим вмістом казеїну, що призводить до утворення крупинчастої консистенції. Якщо вміст казеїну перевищує 3%, необхідно застосовувати рослинні гідроколоїди [5, 6].

На сучасному етапі розвитку молочної галузі оптимізація технологічних процесів виробництва молочних продуктів з комбінованим складом за одночасного поліпшення якості готового продукту становить одну з актуальних проблем. Це, у свою чергу, спонукає до дещо глибших досліджень щодо отримання ферментованих молочножирових продуктів з комбінованим складом тривалого терміну зберігання.

Мета наукового дослідження. Обґрунтувати і оптимізувати температурні режими пастеризації суміші з комбінованим складом сировини на основі молочного і рослинного жиру та температури термомеханічного оброблення отриманих згустків ферментованої суміші для забезпечення стабільності якісних характеристик готового продукту під час зберігання.

Матеріали і методи. Предмет дослідження: суміш з комбінованим складом сировини на основі вершків і рослинного жиру з масовою часткою загального жиру 25%, ферментована суміш після сквашування та готовий продукт з комбінованим складом сировини одержаний після теплового оброблення ферментованої суміші з комбінованим складом сировини з масовою часткою загального жиру 25%.

Вершки отримували із незбираного молока та пастеризували в умовах експериментального цеху лабораторії технології молочних продуктів ІПР. Як рослинні жири використовували замінники молочного жиру з масовою часткою жиру 99,7%, температура плавлення 33°C (ВАТ «Київський маргариновий завод»). Дослідні зразки сумішей з комбінованим складом сировини на основі вершків і рослинного жиру з масовою часткою загального жиру 25% заквашували препаратом прямого внесення на основі мезофільних та термофільних культур, призначеного для виробництва сметани. Температура культивування становила 30°C. Контролювання ферментативного процесу оцінювали за динамікою наростання кислотності. Жирові компоненти відповідно до рецептури піддавали емульгуванню в роторно-вихровому емульгаторі Я5-ОЕВ. Ефективність емульгування сумішей перевіряли методом відстоювання. Сквашені суміші

витримували в холодильній камері за температури $4\pm 2^{\circ}\text{C}$ протягом 4-6 годин, після чого перемішували та визначали показники якості готового продукту.

Експеримент з оптимізації технологічних режимів був спланований за наступною схемою: температура пастеризації початкової суміші з комбінованим складом сировини встановлювали в межах $65-95^{\circ}\text{C}$ із кроком 5°C , температура термомеханічного оброблення згустку ферментованої суміші – в межах від $30-70^{\circ}\text{C}$ з кроком 10°C . Діапазон зміни досліджуваних параметрів обраний на основі власних експериментальних досліджень, які показали, що підвищення температури пастеризації суміші з комбінованим складом сировини та термомеханічного оброблення згустку ферментованої суміші, вищі за вказані граничні величини не є раціональними з технологічної та економічної точки зору. Натомість зниження вказаних температур призводить до погіршення структурно-механічних, а також мікробіологічних характеристик готового продукту.

За результуючі фактори якості готового продукту було обрано вологоутримувальну здатність (ВУЗ) і дисперсність. Отримані експериментальні дані бробиля за допомогою комп'ютерної програми MathCad 2000 [7, 8].

План зміни вхідних параметрів (температури пастеризації суміші з комбінованим складом сировини на основі вершків і рослинних жирів та термомеханічного оброблення згустку ферментованої суміші) наведено нижче (табл. 1).

Таблиця 1

Експериментальні дані зміни ВУЗ та дисперсності залежно від режимів пастеризації суміші та термомеханічного оброблення ферментованого згустку

Фактори, що вивчаються		Фактори, що регулюються	
Температура пастеризації початкової суміші, $^{\circ}\text{C}$	Температура термомеханічного оброблення згустку ферментованої суміші, $^{\circ}\text{C}$	ВУЗ, %	Дисперсність, %
1	2	3	4
t_1	t_2	V	D
1	2	3	4
65	30	80	25,1
70	30	90	25,1
75	30	91	30,3
80	30	93	30,3
85	30	95	32,1
90	30	97	35,5
95	30	98	49,5
65	40	80	39,5
70	40	98	41,2
75	40	90	44,3
80	40	94	45,2
85	40	95	52,2
90	40	95	55,5
95	40	97	55,9
65	50	50	48,6
70	50	75	49,8
75	50	80	45,6
80	50	90	49,7
85	50	90	55,1
90	50	92	56,1
95	50	98	57,1

Продовження таблиці 1

1	2	3	4
65	60	48	52,5
70	60	80	53,4
75	60	83	56,3
80	60	93	56,9
85	60	95	57,8
90	60	95	58,5
95	60	98	58,6
65	70	35	55,9
70	70	45	58,6
75	70	47	61,2
80	70	70	65,3
85	70	91	71,5
90	70	92	77,4
95	70	95	77,5

Результати. Консистенція як один з основних показників якості ферментованих молочних продуктів формується впродовж усього технологічного процесу і залежить від якості вихідної сировини, наявності стабілізаторів консистенції, видового складу мікроорганізмів заквашувального препарату, технологічних параметрів виробництва (температури теплового оброблення і гомогенізації молочної сировини, кислотності згустку наприкінці сквашування, температури теплового оброблення кисломолочного згустку під час вироблення термізованих продуктів тощо) [2, 9].

Переважно кисломолочні продукти виробляють резервуарним способом, що передбачає сквашування молока, перемішування згустку та фасування готового продукту. Такі продукти мають зруйновану структуру гелю, а під час зберігання, як правило, спостерігається явище синерезису. Для підвищення здатності до зберігання термізованих ферментованих продуктів без погіршення їх консистенції, крім забезпечення мікробіологічної чистоти необхідно також проводити заходи, що сприяють стабілізації біохімічних процесів, запобіганню або уповільненню синерезису.

Унаслідок високого вмісту жиру, який виконує захисну функцію, термізовані ферментовані продукти подібні сметані, найменш чутливі до нагрівання, проте використання стабілізаторів консистенції визнано необхідним [9, 10].

Графічно представлено зображення взаємозв'язку між вхідними та вихідними параметрами під час термомеханічного оброблення ферментованого згустку з вмістом жиру 25% (рис. 1 і 2).

Застосовуючи регресійний аналіз, оцінювали характер взаємозв'язку між вхідними (температура пастеризації вершків та температура термомеханічного оброблення кисломолочного згустку) та вихідними (ВУЗ та дисперсність) параметрами з огляду на те, що ці показники найбільш повно відображають дію температури пастеризації та термомеханічного оброблення згустку на якість ферментованого молочножирового продукту з вмістом жиру 25%. У результаті проведеного аналізу отримано наступне рівняння регресії (1):

$$F(T, K) = 1,041 \cdot 10^4 - 438,751 \cdot T - 0,036 \cdot K + 0,035 \cdot T \cdot K + 4,236 \cdot T^2 + 1,653 \cdot 10^{-7} \cdot K^2 - 1,145 \cdot 10^{-7} \cdot T^2 \cdot K - 2,538 \cdot 10^{-11} \cdot K^2 \cdot T - 3,064 \cdot 10^{-13} \cdot T^2 \cdot K^2 \quad (1)$$

де: T – температура пастеризації суміші з комбінованим складом сировини, °C;

K – температура оброблення ферментованого згустку, °C.

Аналізування отриманого рівняння (1) дозволило зробити висновок, що за підвищення температури пастеризації суміші з комбінованим складом сировини зростає вологоутримувальна здатність і поліпшується дисперсність ферментованого згустку під час термомеханічного оброблення.

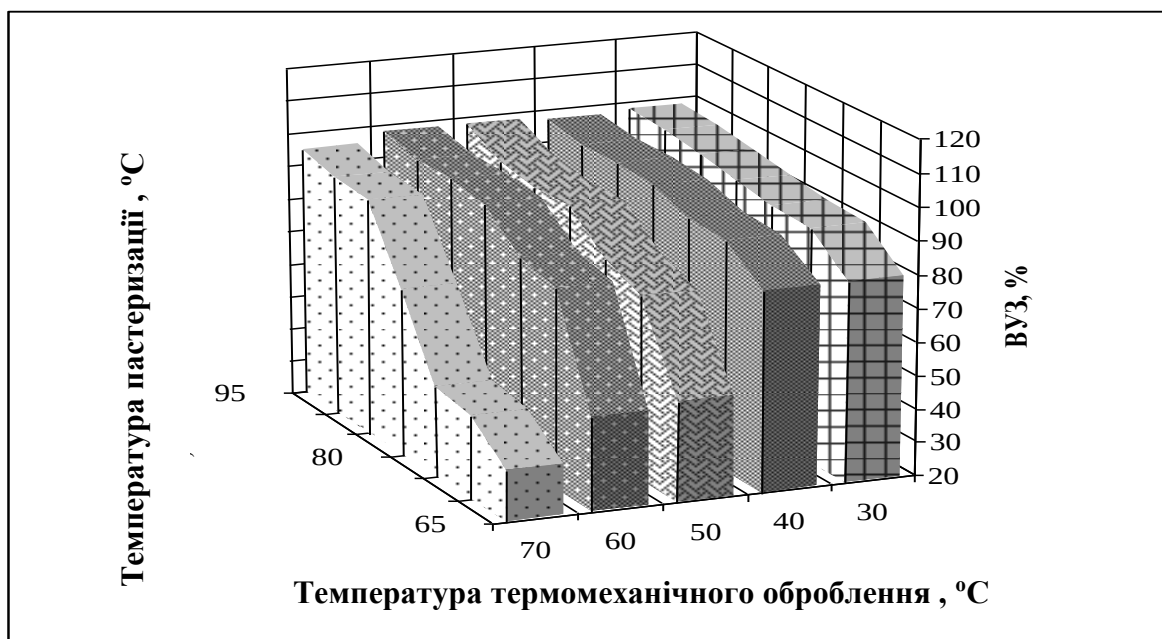


Рис. 1. Залежність вологоутримувальної здатності ферментованої суміші з комбінованим складом сировини від температури пастеризації та температури термомеханічного оброблення за різних значень вхідних параметрів

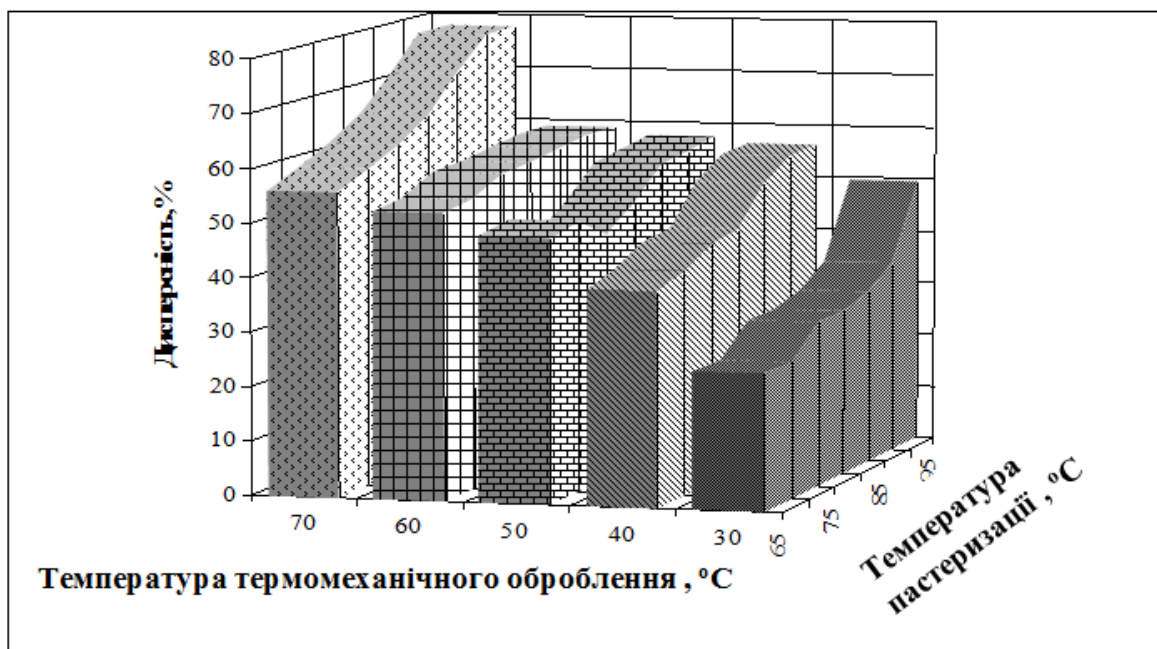


Рис. 2. Залежність дисперсності згустків ферментованої суміші з комбінованим складом сировини від температури пастеризації та температури термомеханічного оброблення за різних значень вхідних параметрів

Для визначення екстремальної точки (оптимуму) використовували метод сіток [7]. Він дозволяє знайти оптимальне значення за допомогою перегляду усіх можливих сполучень незалежних змінних із наступним зіставленням цільових функцій для усіх цих

сполучень. Отже, в результаті оброблення отриманого рівняння (1) із застосуванням методу сіток встановлено оптимальні параметри отримання ферментованого продукту: пастеризація початкової суміші повинна відбуватися за температури 95°C; термізація ферментованої суміші – за температури 70°C.

З метою оцінювання якості ферментованого термізованого продукту з комбінованим складом сировини, виробленого за оптимальних режимів, досліджено його органолептичні, фізико-хімічні і мікробіологічні показники під час зберігання впродовж 28 діб (табл. 2).

Таблиця 2

**Показники якості ферментованого продукту
з комбінованим складом сировини під час зберігання**

Термін зберігання	Фізико-хімічні показники		Мікробіологічні показники		Смак і аромат	Консистенція
	Масова частка жиру, %	Кислотність, °Т	КМАФАМ ($\times 10^7$), КУО/см ³	Кількість дріжджів, КУО/г		
Після виготовлення	25	63	не виявлено	не виявлено	Чистий, кисломолочний, з присмаком та ароматом, що властивий пастеризованому продукту, без сторонніх присмаків і запахів	Однорідна маса з глянцевою поверхнею в міру густа. Допускається злегка в'язка, наявність поодиноких пухирків повітря, незначна крупчастість
Через 3 доби	25	63	-*-	-*-		
Через 7 діб	25	75	-*-	-*-		
Через 14 діб	25	82	-*-	10		
Через 21 добу	25	95	-*-	10		
Через 28 діб	25	107	-*-	50	Кисломолочний з незначним стороннім присмаком та запахом	Однорідна, з незначним розшаруванням і відділенням сироватки

Одержані дані (табл. 2) свідчать, що гарантійний термін зберігання ферментованого термізованого продукту з комбінованим складом сировини на основі вершків та рослинних жирів, виробленого за оптимальних режимів, за органолептичними, фізико-хімічними та мікробіологічними показниками становить 21 добу.

Висновки. Застосовуючи регресійний аналіз отримано рівняння регресії, яке відобразило характер взаємозв'язку між вхідними (температура пастеризації вершково-рослинної суміші і температура термомеханічного оброблення ферментованого згустку) та вихідними (ВУЗ та дисперсність) параметрами. Визначено оптимальні значення температури пастеризації початкової суміші і термізації ферментованого згустку 95°C і 70°C, відповідно. Застосування визначених технологічних параметрів дозволило отримати ферментований молочножировий продукт з вмістом жиру 25% з гомогенною, щільною та стабільною структурою без відділення сироватки, а також забезпечити дотримання мікробіологічних критеріїв впродовж 21 доби зберігання.

Бібліографія

1. Устименко І. М., Поліщук Г. Є. Розроблення нового виду кисломолочного продукту комбінованого складу. Харчова промисловість. 2016. 20. С. 93-99.
2. Машкін М. І., Париш Н. М. Технологія молока і молочних продуктів: Навчальне видання. Київ: Вища освіта. 2006. 351 с.
3. Арсенєва Л. Ю., Мельниченко В. М. Зміна жирнокислотного складу жирової сировини під час термічного оброблення харчових продуктів. Харчова промисловість. 2016. 20. С. 61-66.
4. Гладкий Ф. Ф., Тимченко В. К., Демидов І. М. та ін. Технологія модифікованих жирів: навч. посіб. 2-ге вид., перероб. Харків: Вид.-во «Підручник НТУ «ХПІ», 2014. 214 с.
5. Webster F. Oats: Chemistry and Technology. St. Paul: Amer. Assoc. Cereal Chem., 1997. 311 p.
6. Устименко І. М., Бреус Н. М., Поліщук Г. Є. Наукове обґрунтування складу емульсій, призначених для нормалізації молокозмісних продуктів. Наукові праці НУХТ. 2016. 22. 5. С. 183-188.
7. Ладієва Л. Р. Оптимізація технологічних процесів. Київ: ІВЦ Видавництво «Політехніка», 2016. 192 с.
8. Sztangret L., Rauch L., Kusiak J., Jarosz P., Małeckı S. Modeling of the oxidizing roasting process of zinc sulphide concentrates using the artificial neural networks. Computer Methods in Materials Science. 2017. 11(1). p. 122-127.
9. Чагаровський О. П. Хімія молочної сировини: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. Одеса: Сімекс-прінт. 2013. 268 с.
10. Устименко І. М., Корх Н. С., Тетеріна С. М., Поліщук Г. Є. Аналіз мікробіологічних показників харчових емульсій. Наукові праці НУХТ. 2018. 24(2). С.209-215.

References

1. Ustymenko, I. M., Polishchuk, G. E. (2016). Rozroblennia novogo vudy kuslomolocnogo prodykty kombinovanogo sklady. [Development of a new type of fermented milk product of a combined composition]. Kharchova promyslovist [Food Industry]. 93-99 p. [in Ukrainian].
2. Mashkin, M. I., Parish N. M. (2006). Tehnologia moloka i molochnuchnuh prodyktiv. [Technology of milk and dairy products: Educational edition]. K.: Vyscha osvita [Higher education], 351 p. [in Ukrainian].
3. Arsenyeva, L. Yu., Melnychenko, V. M. (2016). Zmina zhurnokuslotnogo sklady zhrovoi surovunu pid chas termichnogo obroblennia harchovuh prodyktiv. [Changes in the fatty acid composition of fatty raw materials during thermal processing of food products]. Kharchova promyslovist [Food Industry]. 61-66 p. [in Ukrainian].
4. Hladkyi, F. F., Timchenko, V. K., Demidov, I. M. et al. (2014). Tekhnolohiia modyfikovanykh zhyriv: navch. posib. [Technology of modified fats: training. manual]. 2nd ed., revision. Kharkiv: Vyd.-vo «Pidruchnyk NTU «KhPI» [Publishing house "Textbook of NTU "KhPI"]. 214 p. [in Ukrainian].
5. Webster, F. Oats: Chemistry and Technology. St. Paul: Amer. Assoc. Cereal Chem., 1997. 311 p.
6. Ustimenko, I. M., Breus, N. M., Polishchuk, G. E. (2016). Naykove obgryntyvannia sklady emylsii, pruznachenuh dlya normalizzatsii molokovmisnuh prodyktiv. [Scientific substantiation of the composition of emulsions intended for the normalization of milk-containing products]. Naukovi pratsi NUKhT [Scientific works of the NUHT]. 183-188 p. [in Ukrainian].
7. Ladiyeva, L. R. (2016). Optumizatsiia tehnologichnuh protsesiv. [Optimization of technological processes]. K.: IVTs Vydavnytstvo «Politekhnik» [IVC Politechnic Publishing House]. 192 p. [in Ukrainian].
8. Sztangret, L., Rauch, L., Kusiak, J., Jarosz, P., Małeckı, S. Modeling of the oxidizing roasting process of zinc sulphide concentrates using the artificial neural networks. Computer Methods in Materials Science, 2017. 11(1). pp. 122-127.
9. Chagarovsky, O. P. (2013). Himiia molochnoi surovunu: navchalnyi posibnik dlia studentiv vuschuh navchalnuh zakladiv. [Chemistry of dairy raw materials: a study guide for students of higher educational institutions]. Odesa: Сімекс-прінт [Simex-print]. 268 p. [in Ukrainian].
10. Ustimenko, I. M., Korkh, N. S., Teterina, S. M., Polishchuk, G. E. (2018). Analiz mikrobiologichnuh pokaznikiv harchovuh emylsii. [Analysis of microbiological indicators of food emulsions]. Scientific works of the NUHT. 24(2). 209-215 p. [in Ukrainian].