

УДК 637.2.04

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ МОЛОЧНО-ЖИРОВИХ ЕМУЛЬСІЙ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ВЕРШКОВИХ ПАСТ ІЗ ДОДАВАННЯМ СТАБІЛІЗУЮЧИХ СИСТЕМ

Боднарчук О. В., д.т.н., с.н.с.,
зав. відділу аналітичних досліджень та якості харчової продукції
Інститут продовольчих ресурсів НААН, м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-3092-4354>

<https://doi.org/10.31073/foodresources2022-18-03>

Завдяки оптимізації співвідношення стабілізаторів структури можна регулювати склад і властивості вихідної сировини як основи для молочно-жирових емульсій. Порівняльна оцінка фізико-хімічних властивостей молочно-жирових емульсій та високожирних вершків дає можливість прогнозувати їх потенційну можливість до перетворення у вершкові пасту з заданою консистенцією. **Мета роботи** – дослідження фізико-хімічних властивостей молочно-жирових емульсій як основи для виробництва вершкових паст. **Предмет досліджень**: зміни фізико-хімічних властивостей (ефективна в'язкість, седиментаційна стійкість) та органолептичних властивостей (консистенції, смаку) вершків з м.ч. жиру 35% залежно від використання різних доз стабілізуючих систем: колоїдану QNA як стабілізатора консистенції у кількості від 0,5 до 1,5% та емульгатора дімодану U/G – від 0 до 1,0% («Danisco», Данія). **Методи досліджень**: фізико-хімічні властивості (ефективна в'язкість, седиментаційна стійкість). **Результати досліджень**. Досліджено склад і властивості вершків з різною масовою часткою жиру від 70% до 30%. Встановлено, що зниження масової частки жиру та, відповідно, збільшення плазми у вершках, призводить до значних змін фізико-хімічних показників, які характеризують стан жирової емульсії. У зв'язку з цим для виробництва продуктів маслоробства пониженої жирності необхідне регулювання властивостей вершків. Проведено математичне моделювання, спрямоване на встановлення доз для поліпшення властивостей молочно-жирових емульсій, підвищення процесу структуроутворення і подальшого забезпечення необхідної консистенції вершкових паст. Визначено оптимальні дози спільного використання колоїдану QNA як стабілізатора консистенції і емульгатора дімодану U/G. Встановлено, що їх вміст має бути: для паст з м.ч. жиру 35% – 1,0+0,5%. За показниками ефективної в'язкості визначено ефективність спільної дії стабілізаторів консистенції і емульгаторів при отриманні молочно-жирових емульсій. Причому застосування емульгатора менше впливало на ефективну в'язкість молочно-жирових емульсій. Встановлено, що зміна досліджуваних показників (ефективна в'язкість, седиментаційна стійкість) завдяки використанню стабілізаторів структури для наближення їх до показників високожирних вершків з масовою часткою жиру 70% може поліпшити умови для стабілізації структуроутворення низькожирних продуктів та формування бажаної пастоподібної консистенції.

Ключові слова: вершки, молочно-жирові емульсії, стабілізатори, емульгатори, ефективна в'язкість

FEATURES OF FORMATION OF PROPERTIES OF MILK-FAT EMULSIONS FOR PRODUCTION OF CREAM PASTE WITH ADDITION OF STABILIZING SYSTEMS

Oksana Bodnarchuk, D-r of Sciences, Senior Researcher,
Head of Department of Analytical Researches and Quality of Food Products
Institute of Food Resources of NAAS, Kyiv, Ukraine

<https://doi.org/10.31073/foodresources2022-18-03>

By optimizing the ratio of structure stabilizers, it is possible to adjust the composition and properties of the raw material as a basis for milk-fat emulsions. Comparative evaluation of physicochemical properties of milk-fat emulsions and high-fat cream makes it possible to predict their potential for transformation into cream pastes with a given consistency. **The aim of the work** is to study the physicochemical properties of milk-fat emulsions as a basis for the production of cream pastes. **Subject of research:** changes in physicochemical properties (effective viscosity, sedimentation resistance) and organoleptic properties (consistency, taste) of cream with fat 35% depending on the use of different doses of stabilizing systems: colloidal QNA as a stabilizer consistency in the amount of 0.5 to 1.5% and emulsifier demodan U/G – from 0 to 1,0% ("Danisco", Denmark). **Methods of research:** physicochemical properties (effective viscosity, sedimentation resistance). **Results of research.** The composition and properties of cream with a cut mass fraction of fat from 70% to 30% were studied. It was found that the decrease in the mass fraction of fat and, accordingly, the increase in plasma in the cream, leads to significant changes in physicochemical parameters that characterize the state of the fat emulsion. Therefore, the production of low-fat butter products requires adjustment of the properties of the cream. Mathematical modeling aimed at establishing doses to improve the properties of milk-fat emulsions, increase the process of structure formation and further ensure the required consistency of cream pastes. The optimal doses of co-use of QNA colloid as a consistency stabilizer and demodan emulsifier U/G were determined. It is established that their content should be: for pastes with m.ch. fat 35% – $1.0 \pm 0.5\%$. The effectiveness of the joint action of consistency stabilizers and emulsifiers in obtaining milk-fat emulsions was determined by the indicators of effective viscosity. Moreover, the use of emulsifiers had less effect on the effective viscosity of milk-fat emulsions. It was found that changing the studied parameters (effective viscosity, sedimentation resistance) due to the use of structure stabilizers to bring them closer to high-fat cream with a mass fraction of 70% fat can improve the conditions for stabilizing the structure of low-fat products and forming the desired pasty consistency.

Key words: cream, milk-fat emulsions, stabilizers, emulsifiers, effective viscosity

Постановка проблеми. У сучасних умовах існуючого дефіциту молока-сировини та повноти використання вторинного сировинного потенціалу молочної галузі на сьогодні галузева наука і молокопереробні підприємства України концентрують увагу на створенні нової групи молочно-жирових продуктів. Дана група ґрунтується на пониженому вмісту молочного жиру, ефективності різних умов термомеханічної обробки на перетворення молочно-жирових емульсій в якісний продукт [1-4].

Зокрема, для підвищення ефективності маслоробної галузі і забезпечення різноманітних запитів сучасного споживача перспективними є масляні та вершкові пасти. Відповідно до світових стандартів [5-6] такі продукти мають назву молочні спреди або напівжирне масло. Враховуючи підвищений вміст молочної плазми у даних продуктах, формування належних структурно-механічних властивостей та їх стабільності упродовж зберігання вимагає залучення функціонально-технологічних інгредієнтів, зокрема стабілізаційних систем. Дані системи добре поєднуються з молочною основою і дозволяють максимально ефективно використовувати властивості їх складових для

формування стійких складних емульсій [7-8]. У працях науковців [9-11] розкрито такі підходи, що дозволяють отримати продукти із завданою пастоподібною структурою, наближеною до структури класичного вершкового масла.

Розроблення технологій низькожирних продуктів маслоробства з вмістом жиру 30-40% ускладнюється через погіршення термомеханічної обробки молочно-жирових емульсій пониженої жирності. Ускладнення обумовлено зміною їх фізико-хімічних властивостей. Особливо це відзначено в працях [12,13], у яких розкрито істотні властивості зниження їх в'язкості і нестабільності. Ряд дослідників [12-15] вважають, що стійкості емульсії перешкоджають процеси коалесценції, розшарування та флокуляції.

Тому виготовлення якісного емульсійного продукту з підвищеним вмістом молочної плазми, насамперед, передбачає вибір і правильне поєднання стабілізаційних систем: стабілізаторів консистенції і емульгаторів. Дія емульгаторів обумовлена їх здатністю накопичуватися на межі двох рідких фаз, знижуючи міжфазне напруження, і створювати навколо крапель захисний шар, що перешкоджає коагуляції і коалесценції. Тип емульгатора і його кількість залежать від масової частки жиру в емульсійному продукті, режимів технологічного процесу, виду використовуваної сировини, ступеня заміни молочного жиру, умов та термінів зберігання продукту [15-19].

Як правило, для стабілізації низькожирних емульсій необхідно використовувати емульгатори змішаного типу, які поєднують в собі гідрофільні і гідрофобні композиції. Вони володіють максимальною функціональністю і дозволяють створювати широкий спектр емульсійних продуктів з завданими властивостями. Найбільш поширені емульгатори містять моно- і дигліцериди харчових жирних кислот, лецитин і фосфоліпіди, емульгатори на основі полігліцерину та ін. У працях авторів [7, 17-21] відзначено, що завдяки гідрофільності та міцнішому втримуванню вологи за підвищених температур фосфоліпідів, їх додаткове залучення поліпшує функціональні властивості емульгаторів.

Крім того, вони повинні відповідати певним вимогам: бути фізіологічно безпечними, сприяти утриманню вологи в продукті при механічній обробці у процесі виробництва, стабілізувати високо- і низькодисперсні емульсії, підвищувати їх стійкість, забезпечувати стійкість продукту під час зберігання. При виборі емульгатора враховують температуру плавлення, йодне число, що характеризують ступінь насиченості. Так, в дослідженнях [15-16] показано, що моногліцериди з йодним числом 50-90 г I₂/100 г використовують при виробництві низькожирних емульсій.

Авторами робіт [7,10,16] встановлено, що використання стабілізаторів структури обумовлює зміну фізико-хімічних властивостей і структурно-механічних показників молочно-жирових емульсій. Їх характер зміни залежить від виду і кількості використаного стабілізатора.

Ряд авторів [15-21] для стабілізації структури низькожирних продуктів пропонують використання желатину, похідних целюлози, пектину, комплексних стабілізаційних систем Хамульсіон, Палсгаард. До їх складу входять гідроколоїди – каррагенан, ксантанова й гуарова камеді, модифікований крохмаль тощо, що дозволяє отримувати пасти із різною структурою

Для забезпечення стабільності емульсії прямого типу необхідним є використання поверхнево-активних речовин, за яких відбувається диспергування жирової фази. Крім цього, підвищуються органолептичні та фізико-хімічні характеристики готового продукту.

Процес формування властивостей молочно-жирових емульсій з фазовою структурою «жир у воді» під впливом стабілізаторів структури для вершкових паст направлено на створення нових технологій низькожирних продуктів маслоробства. Стабільну структуру можна забезпечити завдяки направленому регулюванню складу і властивостей вихідної сировини – вершків з масовою часткою жиру 35% залежно від дози стабілізаторів структури.

Метою роботи було дослідження фізико-хімічних властивостей молочно-жирових емульсій як основи для виробництва вершкових паст.

Матеріали та методи досліджень. Об'єктом досліджень були молочно-жирові емульсії з масовою часткою жиру 35% з використанням стабілізаторів структури та вершки з масовою часткою жиру від 30% до 70% та відповідно масовою часткою сухих речовин від 2,5% до 9,3%. Високожирні вершки отримували методом двократного сепарування.

Фізико-хімічні властивості вершків та вершків з використанням стабілізаторів структури досліджували за седиментаційною стійкістю емульсій до розшарування [22].

Ефективну в'язкість вершків та вершків з використанням стабілізаторів структури визначали на ротаційному віскозиметрі "Rheotest II" із вимірювальною системою циліндр/циліндр (S/S1, S/S2, S/S3) для різних в'язкостей згідно інструкції. У проміжок між циліндрами вносили вершки, в якому під дією сили обертання ротора відбувався зсув одного шару згустку відносно іншого. За швидкістю обертання ротора та силою опору його обертанню визначали реологічні характеристики продукту. Вимірювання проводили за швидкості деформації $48,6 \text{ с}^{-1}$. Показники приладу переводили у напруження зсуву (Па) за даної швидкості деформації за формулою:

$$\tau = Z \cdot \alpha,$$

де τ – напруження зсуву, Па;

α – показники приладу;

Z – константа циліндра, Па/од. шкали приладу.

Ефективну в'язкість дослідних зразків визначали за формулою:

$$\eta_{\text{ef}} = \tau / D_r \cdot 100,$$

де η_{ef} – ефективна в'язкість, Па .с

D_r – граничне напруження зсуву, $\text{Па}^2/\text{с}$. $D_r = \text{const}$ для кожного режиму руйнування згустку.

Молочно-жирові емульсії готували на основі знежиреного молока та високожирних вершків з м.ч. жиру 70%. Для цього окремо розчиняли стабілізатор у знежиреному молоці, підігрітому за температури $(45 \pm 5)^\circ\text{C}$, а емульгатор – у високожирних вершках за температури $(50 \pm 5)^\circ\text{C}$. Компоненти у визначених умовах дослідів кількостях з'єднували для отримання нормалізованих вершків з м.ч. жиру відповідно 35%. Отриману суміш нагрівали до $(80 \pm 1)^\circ\text{C}$ за безперервного перемішування з подальшим охолодженням до $(15 \pm 1)^\circ\text{C}$. Співвідношення компонентів варіювали для нормалізації вершків 35%.

Для обробки одержаних експериментальних даних застосовували пакет програмного продукту STATISTICA®5. XX for Windows (StatSoft Inc., USA) згідно з урахуванням рекомендацій автора [23], наведених у посібнику.

Оцінку результатів досліджень проводили за рівнем значимості P . Повторність дослідів триразова. Результати вважали достовірними за довірчого рівня $P < 0,05$.

Графічну обробку результатів здійснено за допомогою програмного забезпечення Microsoft Excel 2010, Mathsoft Mathcard Enterprise Edition V11.A.

Матеріали та методи досліджень. Зниження масової частки жиру вершків у виробництві низькожирних паст 30-40% обумовлює зниження їх в'язкості, стійкості структурування незалежно від апаратного оформлення технологічного процесу. Ряд дослідників [12-16] вважають, що причиною цьому є зміна складу і фізико-хімічних властивостей вершків.

Дослідження складу і фізико-хімічних властивостей вершків з м.ч. жиру 30-50%, як вихідної сировини для молочно-жирових емульсій у виробництві вершкових паст, показали, що зі зниженням масової частки жиру зменшується у вершках співвідношення масової частки жиру/СЗМЗ, ефективна в'язкість та седиментаційна стійкість (табл. 1).

Таблиця 1

**Фізико-хімічні показники вершків різної жирності
як вихідної сировини для виробництва паст**

М.ч. жиру вершків, %	Співвідношення м.ч. жиру/СЗМЗ	Відстій жиру, %	Ефективна в'язкість, Па·с
70	27,91	96,0±1,0	13,789±0,50
50	11,96	85,9±0,8	0,818±0,009
40	7,97	85,1±1,0	0,072±0,008
35	4,99	74,5±1,0	0,054±0,006
30	3,22	64,0±0,9	0,036±0,006

Зокрема, зниження у вершках м.ч. жиру з 70 до 30% призводило до зниження їх в'язкості з 13,789 до 0,036 Па·с. Вершки з м.ч. жиру 30-40% за даним показником наближалися один до одного і знаходилися в межах 0,036-0,072 Па·с. Стійкість жирових емульсій є оберненою величиною відстою жиру та прямо пропорційна співвідношенню в них Ж/СЗМЗ. Седиментаційна стійкість з м.ч. жиру 50%, 40%, 35% та 30% була нижчою відповідно на 10,5%, 11,4%, 22,4%, 33,3%, ніж у вершках з м.ч. жиру 70%. (табл. 1).

Отримані дані свідчать, що зниження жирності вершків, та, відповідно, збільшення плазми, призводить до значних змін показників, які погіршують здатність вершків перетворюватися в маслоподібні продукти та стабілізувати їх структуру.

Очевидно, що для підвищення здатності вершків до механічної обробки та формування однорідної стійкої структури продуктів пониженої жирності потрібні зміни властивостей вихідних вершків.

У зв'язку з цим, для направленої регулювання властивостей молочно-жирових емульсій з м.ч. жиру 35% як основи для виробництва паст та оптимізації доз стабілізаторів структури відносно масової частки жиру, які б забезпечували молочно-жировим емульсіям фізичні показники, близькі до контрольних вершків (м.ч. жиру 70%), вивчено ефективність сумісної дії стабілізаторів консистенції на прикладі коллоїдану QNA у кількості від 1 до 1,5% та емульгатора дімодан U/G – від 0 до 1,0% та встановлено залежності змін фізико-хімічних та органолептичних властивостей.

Результати аналізу щодо зміни властивостей вершків жирністю 35% з використанням стабілізатора та емульгатора представлено в таблиці 2.

Таблиця 2

**Зміна властивостей вершків з масовою часткою жиру 35%
у залежності від дози стабілізаторів структури**

Масова частка стабілізатора, %	Масова частка емульгатора, %	Ефективна в'язкість, Па·с	Смак і запах, бали	Консистенція, бали	Седиментаційна стійкість, %
0,5	0	4,154	4,2	3,0	92,3
0,5	0,5	4,378	4,2	3,5	92,5
0,5	1	4,494	3,5	3,0	93,9
1	0	5,535	4,2	4,0	92,0
1	0,5	10,707	4,7	5,0	91,9
1	1	12,651	4,2	4,5	93,9
1,5	0	13,837	4,5	3,7	92,3
1,5	0,5	15,481	4,0	4,5	92,4
1,5	1	25,263	3,0	4,0	90,2

Встановлено, що із збільшенням дози стабілізаторів структури в молочно-жирових емульсіях зростає ефективна в'язкість. Причому спільне використання емульгатора та стабілізатора консистенції є ефективнішим. Слід зауважити також, що внесення емульгатора у вершки 35%-ї жирності менше впливало на ефективну в'язкість молочно-жирових емульсій. Істотніші зміни даного показника відбувалися за внесення у вершки стабілізатора.

Так, в'язкість вершків з масовою часткою жиру 35% у разі внесення в них 1,5% стабілізатора знаходилася на одному рівні з в'язкістю контрольних вершків 70%-ї жирності значення яких складало 13,8 Па·с (табл. 2). Спільне використання 1% стабілізатора та емульгатора у кількості 0,5% та 1,0% призводило до збільшення в'язкості вершків відповідно у 1,1 та 1,8 разів порівняно з контрольними вершками і коливалася в межах 10,7-12,7 Па·с.

У деяких зразках спостерігали збільшення седиментаційної стійкості до 4,4%, тоді як в інших – зниження. Певної закономірності при дослідженні седиментаційної стійкості вершків у залежності від доз стабілізаторів та емульгаторів також не було виявлено при використанні інших стабілізаторів структури: желатин і моногліцериди дистильовані П-0291 [15-16].

Смак і запах, а також консистенцію досліджуваних зразків молочно-жирових емульсій визначали за спеціально розробленою 5-ти бальною шкалою (табл. 3) та оцінено відповідно в діапазоні 3,0-4,7 бали та 3,0-5,0 бали.

У всіх досліджуваних варіантах молочно-жирових емульсій з використанням стабілізаторів структури спостерігали тенденцію до поліпшення консистенції завдяки збільшенню їх пластичності. Найліпшими за консистенцією були молочно-жирові емульсії з м.ч. жиру 35%, отримані з використанням стабілізатора і емульгатора у кількостях 1% та 0,5% відповідно. Також високу бальну оцінку отримали молочно-жирові емульсії з використанням лише стабілізатора у кількості 1%. Молочно-жирові емульсії з використанням стабілізатора до 1,0-1,5% та емульгатора 0,5% за смаковими характеристиками були прийнятними. Збільшення емульгатору до 1,0% погіршувало смак емульсії, обумовлений стороннім присмаком гіркоти.

Таблиця 3

**Шкала органолептичної оцінки молочно-жирових емульсій
для одержання вершкових паст**

№	Характеристика	Бали
Смак і запах		
1	Чистий, вершковий, без сторонніх присмаків і запахів стабілізаторів структури	5,0
2	Не достатньо виражений вершковий присмак і запах	4,0
3	Не виражений вершковий, слабо сторонній	3,0
4	Злегка нечистий, зі стороннім присмаком і запахом стабілізаторів консистенції і емульгаторів	2,0
5	Різко виражені сторонні присмаки і запахи стабілізаторів і емульгаторів структури, відчувається гіркота	1,0
Консистенція		
1	Щільна, пластична, однорідна	5,0
2	Занадто щільна, однорідна, злегка мучниста	4,0
3	Пастоподібна, недостатньо щільна, сметаноподібна, однорідна, слабка мучнистість	3,0
4	Пастоподібна, неоднорідна, липка, тугоплавка або сметаноподібна, дуже в'язка, піщаниста	2,0
5	Рідка, розшаровується, нестійка	1,0

Отже, результати досліджень щодо впливу стабілізаторів та емульгаторів на в'язкість молочно-жирових емульсій жирністю 35% дають підставу стверджувати, що додавання стабілізаторів структури обумовлює можливість наближення структурно-механічних властивостей до вершків 70%-ї жирності.

Таким чином, отримані нами дані свідчать, що низькожирні вершки з високим вмістом плазми істотно відрізняються за фізико-хімічними властивостями від високожирних вершків. Отримані наші дані узгоджуються з результатами досліджень авторів [24].

Щоб оцінити міру впливу на досліджувані результативні показники кожного із введених у модель факторів при фіксованому положенні на середньому рівні інших факторів, було проведено багатофакторний регресійний аналіз експериментальних даних. Важливою умовою є відсутність функціонального зв'язку між факторами. Для цього побудовано математичну модель у вигляді аналітичного виразу, котрий якнайкраще відображував зв'язок факторних ознак з результативною. Для отримання стійких молочно-жирових емульсій виконано математичне моделювання за допомогою двофакторної лінійної регресійної моделі, яка в загальному має вигляд :

$$Y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + \varepsilon ,$$

де,

b_0 – вільний член, який визначає значення Y , у разі, коли всі незалежні змінні x_1 рівні 0;

b_1, b_2 – показують наскільки зміниться результативна ознака при зміні на одиницю вимірювання кожного незалежного фактора x_1 та x_2 .

Для отримання стійких молочно-жирових емульсій:

x_1 – масова частка стабілізатора консистенції у вершках у діапазоні від 1,0 до 2,0%;

x_2 – масова частка емульгатора у вершках у діапазоні від 0 до 1,0%;

Y_1 – ефективна в'язкість; Y_2 – смак і запах; Y_3 – консистенція; Y_4 – седиментаційна стійкість ;

ε – випадкова змінна, що характеризує відхилення факторів x_1, x_2 від лінії регресії (залишкова змінна).

В дослідженні – математичне сподівання випадкового відхилення ε_i дорівнює 0 для всіх спостережень ($M(\varepsilon_i) = 0$).

Для оцінки невідомих параметрів b_0, b_1, b_2 застосовано метод найменших квадратів. Згідно з методом невідомі параметри функції вибираються таким чином, щоб сума квадратів відхилень експериментальних (емпіричних) значень Y_i від їх розрахункових (теоретичних) Y_{ip} значень була мінімальною, тобто:

$$S = \sum_{i=1}^n (Y_i - Y_{ip})^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - \varphi(X_i, b_0, b_1, \dots, b_k))^2 \rightarrow \min$$

Моделювання та обробка експериментальних даних виконувались за допомогою математичного пакету MathCad.

Для емульсій з м.ч. жиру 35% отримані рівняння математичних моделей мають вигляд:

1) Рівняння, що кількісно описує ефективну в'язкість:

$$Y_1 = 9,1 + 6,93x_1 + 3,15x_2 + 1,64x_1^2 + 2,77x_1x_2$$

2) Рівняння, що кількісно описує смак і запах:

$$Y_2 = 2,33 + 4,16x_1 + 1,54x_2 - 1,88x_1^2 - 1,48x_2^2 - 0,8x_1x_2$$

3) Рівняння, що кількісно описує консистенцію:

$$Y_3 = 4,9 + 0,45x_1 + 0,13x_2 - 0,88x_1^2 - 0,63x_2^2 + 0,075x_1x_2$$

4) Рівняння, що кількісно описує седиментаційну стійкість:

$$Y_4 = 91,92 + 0,58x_1 - 3,68x_1x_2 + 3,68x_2$$

Адекватність моделей було перевірено за коефіцієнтами детермінації $R^2_{Y1}=96\%$, $R^2_{Y2}=98\%$, $R^2_{Y3}=91\%$, $R^2_{Y4}=92\%$, що свідчать про високу якісну характеристику зв'язку коефіцієнтів системи, а також зроблено перевірку за допомогою F-тесту (F-критерій Фішера) та t-розподілу Ст'юдента для оцінки надійності коефіцієнтів кореляції.

Для комплексного аналізу зміни властивостей вершків з масовою часткою жиру 35% в залежності від дози стабілізаторів структури та визначення раціональних діапазонів стабілізаторів було проведено багатовимірний регресійний аналіз експериментальних даних.

На основі результатів експериментальних досліджень проведено двовимірну апроксимацію математичної залежності $f=\varphi(x,y)$ – математичну модель, яка з достатньою точністю відтворює досліджувану закономірність $y=f(x,y)$ – експериментальні дані.

Визначено функціональні залежності у вигляді двовимірних поліномів другого степеня, які досить точно описують технологічний процес. Результати моделювання представлено на рис. 1-2.

Рівняння, які адекватно описують результат експерименту для м.ч. жиру 35%, мають наступний вигляд:

$$Y1(x,y) := 0.54 - 4.43 \cdot x + 5.85 \cdot x^2 - 1.45 \cdot y + 0.63 \cdot y^2 + 4.513 \cdot x \cdot y$$

$$Y2(x,y) := 0.13 + 6.17 \cdot x - 2.09 \cdot x^2 + 0.27 \cdot y + 0.92 \cdot y^2 - 1.28 \cdot x \cdot y$$

$$Y3(x,y) := 0.012 + 5.22 \cdot x - 1.87 \cdot x^2 + 4.15 \cdot y - 1.67 \cdot y^2 - 1.54 \cdot x \cdot y$$

$$Y4(x,y) := 2.23 + 121.54 \cdot x - 38.2 \cdot x^2 + 16.23 \cdot y - 1.49 \cdot y^2 - 9.59 \cdot x \cdot y$$

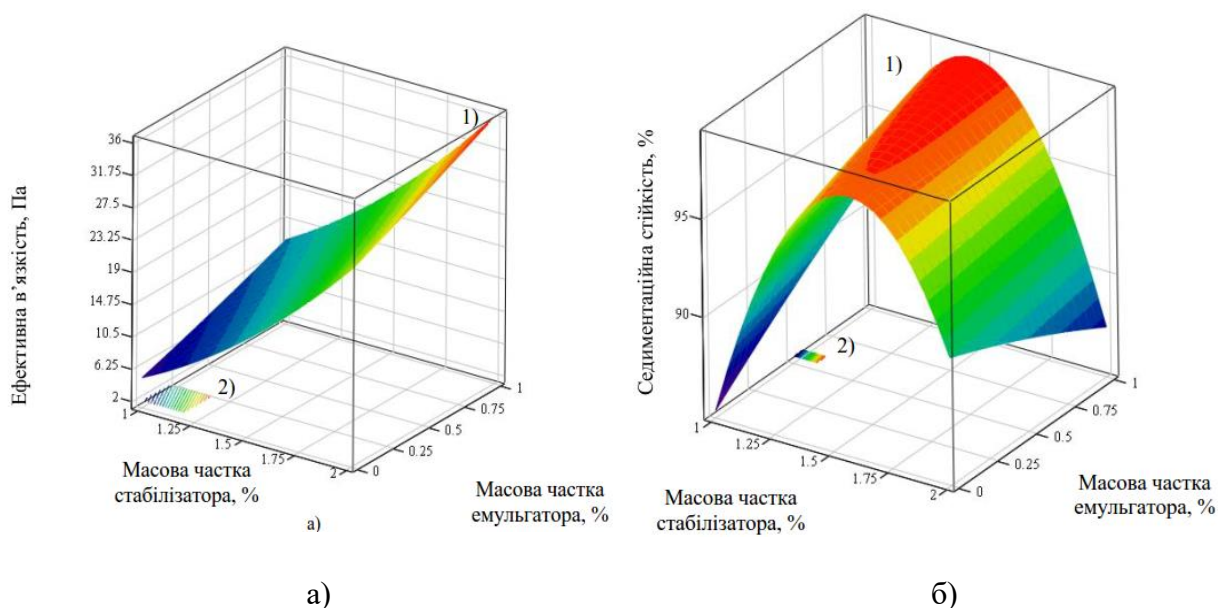


Рис. 1. Графічні 3D моделі (а, б – 1) та раціональні діапазони (а, б – 2) впливу незалежних факторів x та y на основні фізико-хімічні показники молочно-жирових емульсій з м.ч.ж. 35%

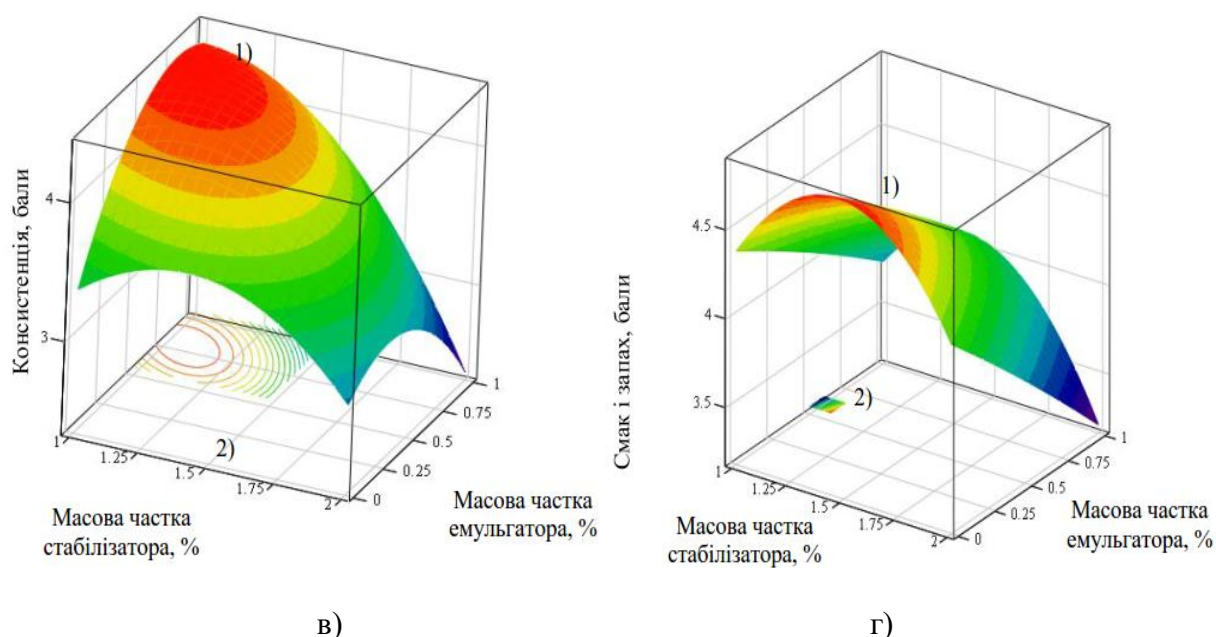


Рис. 2. Графічні 3D моделі (а, б – 1) та раціональні діапазони (а,б – 2) впливу незалежних факторів x та y на органолептичні показники молочно-жирових емульсій з м.ч.ж. 35%

Аналіз проведених досліджень показав, що оптимальні показники для Y_1 становлять 10,707·Па·с; для Y_2 – становить 4,7 балів; для Y_3 – 4,5 балів та для Y_4 – 91,9% за внесення 1,0% стабілізатора і 0,5% емульгатора.

Рівняння, які адекватно описують результат експерименту для м.ч.ж. 35% мають вигляд:

$$Y_1(x,y) := -0.47 - 2.76 \cdot x + 8.3 \cdot x^2 + 4.22 \cdot y + 0.79 \cdot y^2 + 2.13 \cdot x \cdot y$$

$$Y_2(x,y) := 0.14 + 6.46 \cdot x - 2.19 \cdot x^2 - 0.14 \cdot y - 0.09 \cdot y^2 - 0.39 \cdot x \cdot y$$

$$Y_3(x,y) := -0.12 + 4.86 \cdot x - 1.47 \cdot x^2 + 1.67 \cdot y - 2.45 \cdot y^2 + 0.67 \cdot x \cdot y$$

$$Y_4(x,y) := 2.22 + 121.36 \cdot x - 38.4 \cdot x^2 + 17.58 \cdot y - 0.81 \cdot y^2 - 10.37 \cdot x \cdot y$$

Результати проведених досліджень дозволили визначити вплив усіх незалежних факторів на формування фізико-структурних та органолептичних показників.

Внаслідок фізико-хімічних процесів, які відбуваються при взаємодії зі стабілізаторами структури та компонентами вихідних вершків, молочно-жирові емульсії набувають властивостей, наближених до високожирних вершків, які є придатнішими для їх перетворення в готовий продукт. Про це свідчать також дані інших дослідників [24], що такі властивості створюють умови для стабілізації структуроутворення продукту та формування продукту з бажаною консистенцією.

На основі досліджень запропоновано для якісного регулювання властивостей низькожирних вершків використання стабілізаторів структури, які дозволяють молочно-жировим емульсіям пониженої жирності з масовою часткою жиру 35% істотно відрізнитися від вершків аналогічної жирності. Експериментально підтверджено необхідність використання в складі емульсії як стабілізаторів консистенції, так і емульгаторів для її перетворення в якісний продукт з необхідною консистенцією.

Висновок. Встановлено залежності змін фізико-хімічних властивостей вершків м.ч. жиру 35% від дози внесених стабілізаторів структури. Зокрема, із збільшенням доз стабілізаторів структури і масової частки жиру в молочно-жирових емульсіях зростає

ефективна в'язкість та підвищується бальна оцінка консистенції завдяки збільшенню їх пластичності. Слід зауважити, що спільне використання емульгаторів і стабілізаторів консистенції є ефективнішим. За результатами досліджень встановлено, що обрані параметри впливають на ефективність молочно-жирової емульсії. Проте на формування структури більше впливають стабілізатори консистенції, ніж емульгатори.

Таким чином, оптимізовані дози стабілізаторів структури забезпечать вихідним вершкам пониженої жирності фізико-хімічні та органолептичні показники, наближені до контрольних вершків. Зокрема, для молочно-жирових емульсій з м.ч. жиру 35% стабілізатор колоїдан QNA та емульгатор дімодан U/G – відповідно у кількостях 1,0% і 0,5%.

Бібліографія

1. Hinrichs J., Kessler H. G. Fat Content of Milk and Cream and Effect on Fat Globule Stability. *Journal of Food Science*. 1997. №62. P. 992-995.
2. Ronholt S., Mortensen, K., Knudsen, J. C. The effective factors on the structure of butter and other milk fat-based products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2013. №12. P. 468-482.
3. Rybak O. Milk fat in structure formation of dairy products: a review. *Ukrainian Food Journal*. 2016. Vol. 510. No. 5. Issue 3. P. 499-514.
4. Leal-Calderon F. Emulsified lipids: formulation and control of end-use properties. *Oilseeds and Fats Crops and Lipids*. 2012. Vol. 19. № 2. P. 111-119. <https://doi.org/10.1051/ocl.2012.0438>.
5. CAS 253, 2006. Codex Alimentarius: Standard 253–2006. Codex standard for dairy fat spreads STAN 253-2006.
6. CAS 279, 1971. Codex Alimentarius: Standard 279–1971. Standard for butter CXS Standard for butter CXS 279-1971.
7. Галух Б., Паска М., Драчук У., Басараб І. Вплив емульгаторів, стабілізаторів і структуроутворювачів на формування споживчих властивостей жирових продуктів. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Ґжицького*. 2016. №18 (2). С. 165-170. <https://doi.org/10.15421/nvlvet6835>.
8. Mollakhalili N., Mohammadifar M. A., Naseri A. R. Effective factors on the stability of oil-in-water emulsion based Beverage: A Review. *Journal of Food Quality and Hazards Control*. 2014. №1, P. 67-71.
9. Ipsen R. Microparticulated whey proteins for improving dairy product texture. *International Dairy Journal*. 2017. №67. P. 73-79. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2016.08.009>.
10. Вышемирский Ф. А., Топникова Е. В.; Кучнова О. А. Разработка требований к консистенции сливочных паст. *Труды института ВНИИМС «Актуальные проблемы маслоделия, ассортимента, качества, эффективности»* 1997. С. 11-23.
11. Bayés-García L., Patel A. R., Dewettinck K., Rousseau D., Sato K., Ueno S. Lipid crystallization kinetics – roles of external factors influencing functionality of end products. *Current Opinion in Food Science*. 2015. №4, P. 32-38. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2015.04.005>.
12. Гуляев-Зайцев С. С. Роль молочной плазмы в формировании структуры и консистенции низкокалорийного масла. *Молочная промышленность*. 1986. № 12. С. 24-28.
13. Fredrick E., Walstra P., Dewettinck K. Factors governing partial coalescence in oil-in-water emulsions. *Advances in Colloid and Interface Science*. 2009. №153 (1-2). P. 30-42. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2009.10.003>.
14. Viriato R. L. S., Queirós M. de S., da Gama M. A. S., Ribeiro A. P. B., Gigante M. L. Milk fat as a structuring agent of plastic lipid bases. *Food Research International*. 2018. №111, P. 120-129. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.05.015>

15. Топникова Е. В. Особенности формирования структуры сливочного масла пониженной жирности. Хранение и переработка сельхозсырья. 2005. №2. С. 34-37.
16. Топникова Е. В. Изучение эффективности использования стабилизаторов структуры при выработке сливочного масла пониженной жирности. Хранение и переработка сельхозсырья. 2004. № 5. С. 23-26.
17. Зобкова З. С. Пищевые вещества, формирующие консистенцию и новые свойства молочных продуктов. Молочная промышленность. 2007. №10. С.18-19.
18. Дорожкина Т., Бухмет М. Правильный выбор эмульгатора – залог успеха маргарина на рынке. Масложировая промышленность. 2012. №1. С. 32-34.
19. Ипатова Л. Г., Задорожная Д. Г., Малченко О. А. Фосфолипиды в пищевых эмульсиях, обогащенных функциональными ингредиентами. Масложировая промышленность. 1999. №2. С. 17-19.
20. Федякина З., Горшкова Л., Рубина Л. Жировые эмульсии. Требования к эмульгаторам в свете современных тенденций развития маргаринового производства. Олейно-жировый комплекс. 2007. №3(18). С. 58-62.
21. Богданова Н. С. Модифицированные крахмалы для производства плавленых сырных продуктов. Материалы международной научно-практической конференции. Современные проблемы техники и технологии пищевых производств. Барнаул, 2013. С. 87-90.
22. Галух Б. І. Основні напрямки формування емульсійних жирових продуктів, які володіють функціональними властивостями. Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького. 2016. №18 (4). С. 45-53.
23. Галух Б. І., Паска М. З., Драчук У. Р. Дослідження стійкості майонезних емульсій, виготовлених із використанням харчових волокон. Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького. 2014. Т.16 (4). С. 21-30.
24. Вайткус В., Казлаускайте Э., Малакаускене Б. Модификация методики определения эффективности гомогенизации молока по отстаиванию жира. Труды Лит. филиала ВНИИМС. Вильнюс. 1981. Вып. XV. С. 112-115.
25. Лапач С. Н., Чубенко А. В., Бабиц П. Н. Статистические методы в медико-биологических исследованиях с использованием Excel: учебное пособие. Морион: Киев, 2001. с 408.
26. Обороина М. В., Вышемирский Ф. А., Топникова Е. В. Влияние стабилизаторов структуры на свойства сливок как сырья для производства масла пониженной жирности. Сборник материалов научно-практической конференции. Масло. Сыр. Состояние, проблемы, перспективы развития. Углич, 2003. С. 40-41.

Reference

1. Hinrichs, J., Kessler, H. G. (1997). Fat Content of Milk and Cream and Effect on Fat Globule Stability. *Journal of Food Science*. №62. P. 992-995.
2. Ronholt, S., Mortensen, K., Knudsen, J. C. (2013). The effective factors on the structure of butter and other milk fat-based products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. No. 12. P. 468-482.
3. Rybak, O. (2016). Milk fat in structure formation of dairy products: a review. *Ukrainian Food Journal*. Vol. 510. No. 5. Issue 3. P. 499-514.
4. Leal-Calderon, F. (2012). Emulsified lipids: formulation and control of end-use properties. *Oilseeds and Fats Crops and Lipids*. Vol. 19. № 2. P. 111-119. <https://doi.org/10.1051/ocl.2012.0438>.
5. CAS 253, 2006. Codex Alimentarius: Standard 253-2006. Codex standard for dairy fat spreads STAN 253-2006.

-
6. CAS 279, 1971. Codex Alimentarius: Standard 279-1971. Standard for butter CXS Standard for butter CXS 279-1971.
7. Halukh, B., Paska, M., Drachuk, U., Basarab, I. (2016). Vplyv emulhatoriv, stabilizatoriv i strukturoutvoriuvachiv na formuvannia spozhyvchykh vlastyvostei zhyrovkykh produktiv. [Influence of emulsifiers, stabilizers and structurants on the formation of consumer properties of fatty products.]. *Naukovyi Visnyk Lvivskoho Natsionalnoho Universytetu Veterynarnoi Medytsyny ta Biotekhnolohii Imeni S.Z. Gzhytskoho*. [Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies]. №18 (2). P. 165-170. <https://doi.org/10.15421/nvlvet6835> [in Ukrainian].
8. Mollakhalili, N., Mohammadifar, M. A., Naseri, A. R. (2014). Effective factors on the stability of oil-in-water emulsion based Beverage: A Review. *Journal of Food Quality and Hazards Control*, Vol. 1. P. 67-71.
9. Ipsen, R. (2017). Microparticulated whey proteins for improving dairy product texture. *International Dairy Journal*. No 67. P. 73-79. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2016.08.009>.
10. Vyshemirskiy, F. A., Topnikova E. V., Kuchnova O. A. (1997). Razrabotka trebovaniy k konsistentsii slivochnykh past. [Development of consistency requirements for creamy paste]. *Trudy instituta VNIIMS «Aktual'n-yye problemy maslodeliya, assortiment, kachestvo, effektivnost'»*. [Proceedings of the VNIIMS Institute "Actual problems of oil making, assortment, quality, efficiency"]. P. 28-29. [in Russian].
11. Bayés-García, L., Patel, A. R., Dewettinck, K., Rousseau, D., Sato, K., Ueno, S. (2015). Lipid crystallization kinetics – roles of external factors influencing functionality of end products. *Current Opinion in Food Science*. №4, P. 32-38. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2015.04.005>.
12. Gulyayev-Zaytsev, S. S. (1986). Rol' molochnoy plazmy v formirovanii struktury i konsistentsii nizkokaloriynogo masla. [The role of milk plasma in the formation of the structure and texture of low-calorie oil]. *Molochnaya promyshlennost'*. [Dairy industry]. № 12. P. 24-28. [in Russian].
13. Fredrick, E., Walstra, P., Dewettinck, K. (2009). Factors governing partial coalescence in oil-in-water emulsions. *Advances in Colloid and Interface Science*. №153(1-2). P. 30-42. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2009.10.003>.
14. Viriato, R. L. S., Queirós, M. de S., da Gama, M. A. S., Ribeiro, A. P. B., Gigante, M. L. (2018). Milk fat as a structuring agent of plastic lipid bases. *Food Research International*. No 111, P. 120-129. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.05.015>.
15. Topnikova, Ye. V. (2005). Osobennosti formirovaniya struktury slivochnogo masla ponizhennoy zhirnosti. [Features of the formation of the structure of low-fat butter]. *Khraneniye i pererabotka sel'khozsyrya*. [Storage and processing of agricultural raw materials]. №2. P. 34-37 [in Russian].
16. Topnikova, Ye. V. (2004). Izucheniye effektivnosti ispol'zovaniya stabilizatorov struktury pri vyrabotke slivochnogo masla ponizhennoy zhirnosti. [Study of the effectiveness of the use of structure stabilizers in the production of low-fat butter]. *Khraneniye i pererabotka sel'khozsyrya*. [Storage and processing of agricultural raw materials]. № 5. P. 23-26. [in Russian].
17. Zobkova, Z. S. (2007). Pishchev-yye veshchestva, formiruyushchiye konsistentsiyu i nov-yye svoystva molochnykh produktov. [Nutrients that form the consistency and new properties of dairy products]. *Molochnaya promyshlennost'* [Dairy industry]. №10. P.18-19 [in Russian].
18. Dorozhkina, T., Bukhmet, M. (2012). Pravil'nyy vybor emul'gatora – zalog uspekha margarina na rynke. [The right choice of emulsifier is the key to the success of margarine on the market]. *Maslozhirovaya promyshlennost'*. [Oil and fat industry]. №1. P. 32-34 [in Russian].
19. Ipatova, L. G., Zadorozhnaya, D. G. Malchenko, O. A. Fosfolipidy v pishchevykh emul'siyakh, obogashchennykh funktsional'nymi ingradientami. [Phospholipids in food
-

emulsions enriched with functional ingredients]. *Maslozhirovaya promyshlennost'*. [Oil and Fat Industry]. 1999. №2. P. 17-19 [in Russian].

20. Fedyakina, Z., Gorshkova, L., Rubina, L. (2007). *Zhirovyye emul'sii. Trebovaniya k emul'gatoram v svete sovremennykh tendentsiy sazvitiya margarinovogo proizvodstva*. [Fat emulsions. Requirements for emulsifiers in the light of modern trends in the development of margarine production]. *Oliyno-zhirovyy kompleks*. [Oil and fat complex]. №3(18). P. 58-62 [in Russian].

21. Bogdanova, N. S. (2013). *Modifitsirovannyye krakhmaly dlya proizvodstva plavlennykh syrnykh produktov*. [Modified starches for the production of processed cheese products]. *Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Sovremennyye problemy tekhniki i tekhnologii pishchevykh proizvodstv*. [Proceedings of the international scientific-practical conference. Modern problems of technology and technology food production]. Barnaul, P. 87-90 [in Russian].

22. Ghalukh, B. I. (2016). *Osnovni naprjamky formuvannja emulsiynykh zhyrovyykh produktiv, jaki volodijutj funkcionaljnomy vlastyvostjamy*. [The main directions of formation of emulsion fatty products that have functional properties]. *Naukovyi Visnyk Lvivskoho Natsionalnoho Universytetu Veterynarnoi Medytsyny ta Biotekhnolohii Imeni S. Z. Gzhytskoho*. [Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies]. №18 (4). P. 45-53 [in Ukrainian].

23. Ghalukh, B. I., Paska, M. Z., Drachuk, U. R. (2014). *Doslidzhennja stijkosti majoneznykh emulsiij vyghotovlenykh iz vykorystannjam kharchovykh volokon*. Investigation of the stability of mayonnaise emulsions made using dietary fiber]. *Naukovyi Visnyk Lvivskoho Natsionalnoho Universytetu Veterynarnoi Medytsyny ta Biotekhnolohii Imeni S.Z. Gzhytskoho*. [Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies]. №16 (4). P. 21-30 [in Ukrainian].

24. Vaytkus, V., Kazlauskayte, E., Malakauskene B. (1981). *Modifikatsiya metodiki opredeleniya effektivnosti gomogenizatsii moloka po otstaivaniyu zhira*. [Modification of the method for determining the effectiveness of homogenization of milk to settle fat]. *Trudy Lit. filiala VNIIMS. Vil'nyus. Vyp. KHU*. [Proceedings of the Lit. branch of VNIIMS. Vilnius]. P. 112-115 [in Russian].

25. Lapach, S. N., Chubenko, A. V., Babich, P. N. (2001). *Statisticheskiye metody v mediko-biologicheskikh issledovaniyakh s ispol'zovaniyem Excel: uchebnoye posobiye*. [Statistical methods in biomedical research using Excel]. Morion: Kiyev, 2001. 408 p. [in Russian].

26. Oborina, M.V., Vyshemirskiy, F.A., Topnikova, Ye.V. (2003). *Vliyaniye stabilizatorov struktury na svoystva slivok kak syr'ya dlya proizvodstva masla ponizhennoy zhirnosti*. [Influence of structure stabilizers on the properties of cream as a raw material for the production of low-fat oil]. *Sbornik materialov nauchno-prakticheskoy konferentsii. Maslo. Syr. Stostoyaniye, problemy, perspektivy razvitiya*. [Collection of materials of Scientific and Practical Conference. Oil. Cheese. Status, problems, prospects of development]. Uglich, P. 40-41 [in Russian].