
I. ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

УДК 637.23(544.016.5+544.023.523):66.083.2

СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ТА ДИСПЕРСНИЙ АНАЛІЗ ВЕРШКОВОГО МАСЛА, ОБРОБЛЕНОГО ВИСОКИМ ЦИКЛІЧНИМ ТИСКОМ

В. О. СУКМАНОВ, доктор технічних наук, професор
(Вищий навчальний заклад Укоопспілки
«Полтавський університет економіки і торгівлі»);
А. А. ПАЛАШ, кандидат технічних наук
(Полтавський технікум харчових технологій
Національного університету харчових технологій)

Анотація. Мета роботи – дослідження та порівняльний аналіз структури вершкового масла, виробленого як за традиційною технологією (перетворення високожирних вершків), так і за технологією з використанням високого циклічного тиску.

Об'єкт дослідження – зразки вершкового масла жирністю 72,5 %, солодковершкове селянське, ДСТУ 4399:2005 «Масло вершкове. Технічні умови», оброблені високим циклічним тиском безпосередньо після виходу вершкового масла з маслоутворювача.

У ході виконання роботи було використано фотографування мікроструктури зразків масла, обробки отриманих зображень у комп'ютерній програмі з використанням дискретних ланцюгів Маркова, а також статистичний аналіз результатів і узагальнення.

Обробку масла здійснювали на дослідному комплексі для обробки харчових продуктів високим тиском згідно з розробленою циклограмою: значення максимального тиску від 200 до 350 МПа; тривалість обробки – від 5 до 20 хв; швидкість імпульсу при зростанні тиску 1, 5, 10 МПа/с і швидкість імпульсу при зниженні тиску 250, 20, 5 МПа/с. Кількість циклів – від 1 до 5. Одержали характеристики дисперсності досліджуваних зразків: просторова площа, просторовий периметр, заокругленість, подовженість, діаметр Фере, компактність, еквівалентний діаметр жирових кульок, частинок вологи та бульбашок повітря відповідно.

Встановлено, що обробка високим циклічним тиском вершкового масла призводить до зміни його структури – зменшення внутрішньої вільної поверхні нанопор жирової фази, що ускладнює доступ кисню в нанопори і підвищує стійкість гліцеридів до окислення. Обробка високим циклічним тиском гальмує гідроліз жирів, сприяє зменшенню глибини перекисного окислення жиру і, відповідно, знижує активність утворення вторинних продуктів окислення, що покращує якість і біологічну цінність вершкового масла для споживача.

Ключові слова: вершкове масло, споживча якість, дисперсність, мікроструктура, високий циклічний тиск.

Постановка проблеми в загальному вигляді. Вершкове масло (ВМ) являє собою полідисперсну, багатофазну й багатокомпонентну систему змінного складу [1]. Складна дисперсна структура масла утворюється твердою і рідкою фазами тригліцеридів молочного жиру, плазмою – водною фазою, з розчиненими та диспергованими компонентами молока (білок, цукор, фосфоліпіди, мінеральні та органічні солі, вітаміни та інші складові частини), а також включає газову фазу у вигляді бульбашок.

Полідисперсність ВМ обумовлена тим, що тверда фаза молочного жиру, водна і газова фази знаходяться у вигляді роздроблених частинок, розміри яких змінюються в певних межах: кристали молочного жиру мають розміри 0,01–2 мкм, крапельки вологи 1–15 мкм, бульбашки повітря до 20 мкм [2].

Фізичні властивості ВМ (твердість, пластичність, в'язкість, пружність, міцність і інші структурно-механічні характеристики) визначаються переважно його структурою і ступенем дисперсності його компонентів. З останньою тісно пов'язані консистенція, смак, колір, стійкість масла під час зберігання та інші споживчі властивості.

Середній діаметр крапель плазми в маслі з високожирних вершків становить 1,98–2,53 мкм [4]. За С. В. Васи́син і Ф. А. Вишемирський [3], у цьому маслі більшість крапель плазми має діаметр 1–3 мкм і лише незначна кількість їх – діаметр 9–10 мкм. Частина вологи утримується на поверхні жирових часток і пов'язана зі збереженими оболонками жирових кульок, незначна кількість її (близько 0,25 %) розчинена в жировій фазі.

Масова частка основних компонентів, включаючи вміст жиру і плазми змінюється в широкому діапазоні: жиру від 52 до 82,5 %, плазми – від 49 до 17,5 %. У якій міститься від 1,5 до 5 % СОМО. У солодковершкового масла традиційного складу (82,5 %) масова частка СОМО становить 1,3 0 2,2 %. Ф. А. Вишемирський у праці [4] наводить такі характеристики структури вершкового масла: діаметр крапель плазми в олії – від 0,5 до 11 мкм і більше; масова частка вологи (%) – 87,8–90,6; СОМО: 9,4–12,2; у тому числі лактози

4,6–4,9; білків 3,2–3,4; мінеральних речовин 0,5–0,7; жиру 0,34–3,95 [5–7].

Газова фаза знаходиться в маслі у вигляді найдрібніших бульбашок повітря, частина його розчинена в плазмі. У маслі, виробленому з високожирних вершків, міститься 0,3–0,5 % повітря. Газова фаза вершкового масла кількісно непостійна, коливається в діапазоні від 0,5 до 10–12 мл/100 г. Переважно газова фаза знаходиться в маслі у вигляді дрібнодиспергованих бульбашок, менша частина її розчинена в рідкому жирі та плазмі [8–11].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Багато властивостей ВМ у значній мірі визначаються його фізичною структурою. Найбільш важливою властивістю є стійкість масла у процесі зберігання. Зазначена здатність масла особливо тісно пов'язана з водною фазою, а саме зі ступенем її дисперсності та відносною кількістю капсульованої вологи. Встановлена тісна залежність між стійкістю масла під час зберігання за мінусових температур і підвищенням ступеня дисперсності водної фази ($r = +0,75$), а також збільшенням умісту капсульованої вологи ($r = +0,79$). Ступінь дисперсності водної фази має виражену кореляцію ($r = +0,72$) також із органолептичною оцінкою після двох тижнів зберігання масла за температури 14 °С. Поява згріклості у витриманому за температури 21–25 °С маслі було прискорене в 6–7 разів унаслідок незначного збільшення кількості некапсульованої вологи, тобто підвищення ступеня безперервності водної фази. Між двома названими показниками водної фази існує тісний кореляційний зв'язок ($r = +0,84$) [16].

Середній діаметр крапель плазми в маслі з високожирних вершків становить 1,98–2,53 мкм [1, 2, 4]. За С. В. Васи́синим і Ф. А. Вишемирським [12], у цьому маслі переважна більшість крапель плазми має діаметр 1–3 мкм, лише незначна кількість їх має діаметр 9–10 мкм. Частина вологи утримується на поверхні жирових часток і пов'язана зі збереженими оболонками жирових кульок, незначна кількість її (близько 0,25 %) розчинена в жировій фазі.

Загалом, основною характеристикою дисперсних систем є дисперсність, яка обернено

пропорційна середньому діаметру частинок і визначається питомою поверхнею (відношенням загальної поверхні частинок до одиниці об'єму або маси дисперсної фази).

Наразі для стабілізації якості ВМ у процесі зберігання застосовують різні інноваційні технології його обробки, у тому числі й технологію обробки харчових продуктів високим циклічним тиском (ВЦТ).

Формування цілей статті. Дослідження та порівняльний аналіз структури ВМ, виробленого як за традиційною технологією (перетворення високожирних вершків), так і за

технологією з використанням ВЦТ.

Виклад основного матеріалу дослідження. Обробку масла здійснювали на дослідному комплексі, призначеному для обробки харчових продуктів високим статичним і циклічним тиском згідно з циклограмою (рис. 1). Область експериментування: значення максимального тиску (P_{\max}) – 200, 230, 260, 290, 320, 350 МПа; тривалість обробки – 5, 10, 15, 20 хв; швидкість імпульсу у разі зростання тиску $v_{i\uparrow} = 1, 5, 10$ МПа/с і швидкість імпульсу у разі зниження тиску $v_{i\downarrow} = 250, 20, 5$ МПа/с.

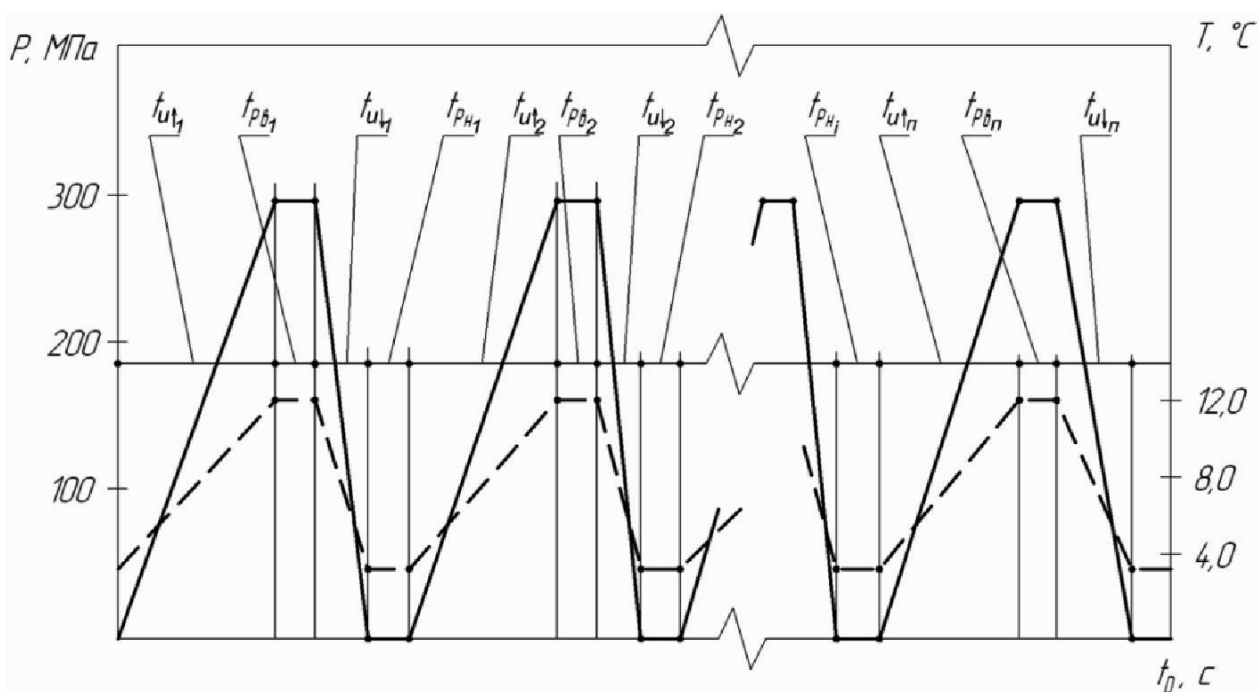


Рис. 1. Циклограма процесу обробки ВМ ВЦТ:

$t_{u\uparrow 1}, t_{u\downarrow 1}, t_{u\uparrow i}, t_{u\downarrow i}$ – тривалість першого і n-го імпульсу у разі зростання та зниження тиску; $t_{pв1}, t_{pв2}, t_{pвi}$ – тривалість витримки тиску в першій верхній, нижній та i-й ($i = 1 \dots n$) верхньої точки циклограми

Тривалість витримки тиску в першій верхній і нижній точках циклограми ($t_{pв}, t_{pн}$) дорівнює 30 сек. Температура масла у процесі обробки ВЦД становить $15 \pm 0,5$ °C. Кількість циклів (n) – від 1 до 5.

У процесі виробництва СМ з використанням ВЦТ технологічні параметри цього процесу (кількість циклів навантаження – n; максимальне значення тиску в кожному циклі

– P_{\max} , МПа; швидкість підйому і скидання тиску – $v_{i\uparrow}, v_{i\downarrow}$, МПа/с; температура процесу – t , °C) значною мірою визначають структуру масла і якість одержуваного продукту. Зважаючи на те, що обробка ВЦТ ВМ призводить до зміни його структури (розмірів частинок, їх конфігурації і форми, взаємного розташування та ін.) на клітинному, молекулярному та міжмолекулярному рівнях, необхід-

но комп'ютеризувати процедуру аналізу його дисперсності.

Задля аналізу дисперсних систем, якими є мікрофотографії зразків ВМ, і який включає виявлення, розпізнавання, фільтрацію, виокремлення і розпізнавання бінарних зображень, що містять досить велику кількість часток малого розміру, виконаних із застосуванням мікроскопів, у роботі використана програма, розроблена в Берлінському технічному університеті та адаптована для виконання поставлених завдань. Аналіз мікрофотографій показав, що відповідно до прийнятої в аналізі бінарних систем зображень що систему слід зарахувати до систем із контурним зображенням, що містить зображення кордонів силуетного зображення у вигляді замкнутої лінії, яка самостійно не перетинається з точками однакової яскравості, кольору й інтенсивності фарбування [18]. Для обробки отриманих зображень у програмі використані дискретні ланцюги Маркова – найбільш зручні та ефективні математичні моделі бінарних зображень [19–21].

На першому етапі розпізнавання об'єктів була використана селекція об'єктів за належністю до одного зі структурних елементів, складових вершкового масла: жирові кульки, частинки вологи та бульбашки повітря. Для візуальної ідентифікації жирових кульок ми використали барвник «судан 4». На другому етапі була здійснена селекція об'єктів за площею, тобто відбирали тільки ті об'єкти, які відповідають критеріям прийнятого поділу об'єктів, площа яких коливається в межах від S_{\min} до S_{\max} .

Мінімальні розміри аналізованих об'єктів становили $2 \text{ пк} \times 2 \text{ пк} = 0,016 \text{ мкм}^2$, унаслідок чого в поле зору потрапляла відносно велика чисельність об'єктів.

Просторову площу визначали за формулою (1):

$$S = \sum_{i=1}^N i, \quad (1)$$

де N – кількість одиничних площ;

i – поточний номер одиничної площі.

Просторовий периметр визначали за формулою (2):

$$P = \sum_{i=1}^N i, \quad (2)$$

де N – кількість одиничних довжин по периметру;

i – поточний номер одиниці довжини по периметру.

$$\text{Заокругленість: } \alpha = \frac{4 \cdot \pi \cdot S}{P^2}. \quad (3)$$

$$\text{Подовженість: } \beta = \frac{d_{\max}}{d_{\min}}, \quad (4)$$

де d_{\max} – найбільший розмір;

d_{\min} – найменший розмір.

Діаметр Фере, або еквівалентний діаметр частинок, тобто діаметр умовної сферичної частинки, що має однаковий обсяг із часткою складної форми, і визначали за формулою (5):

$$D_F = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}}, \quad (5)$$

де S – площа проекцій частинок у полі зору мікроскопа.

$$\text{Компактність: } \gamma = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} / d_{\max}. \quad (6)$$

Еквівалентний діаметр:

$$D_{Eq} = \sqrt{d_{\max} \cdot d_{\min}}. \quad (7)$$

Об'єктами дослідження були зразки вершкового масла жирністю 72,5 %, солодковершкове селянське, ДСТУ 4399:2005 «Масло вершкове. Технічні умови», оброблені ВЦТ безпосередньо після виходу ВМ із маслоутворювача. При цьому температура зразків становила $12 \pm 0,5$ °С.

З метою підвищення достовірності отриманих результатів, для аналізу мікроструктури зразків ВМ мікрофотографії трьох по-

лів кожного з аналізованих зразків підсумували і далі обробляли й аналізували.

Враховавши результати раніше проведених досліджень із впливу параметрів ВЦТ на мікробіологічну безпеку масла, ми вивчили мікроструктуру масла, обробленого з такими параметрами процесу:

- зразок 1 – максимальний тиск P_{\max} 320 МПа, кількість циклів навантаження $p = 5$; швидкість імпульсу при зростанні тиску $v_i \uparrow = 1$ МПа/с, швидкість імпульсу при зниженні тиску $v_i \downarrow = 5$ МПа/с;

- зразок 2 – максимальний тиск P_{\max} 320 МПа, кількість циклів навантаження $p = 4$; швидкість імпульсу при зростанні тиску $v_i \uparrow = 10$ МПа/с, швидкість імпульсу при зниженні тиску $v_i \downarrow = 5$ МПа / с.

Тривалість ділянок циклограми в крайніх нижній і верхній точках – 30 с.

Гістограми, що згладжують функції розподілу та середні значення досліджуваних параметрів, представлені на рис. 2–7.

Аналіз отриманих результатів показав ряд змін у дисперсних характеристиках жирових кульок. Кількість жирових кульок в оброблених ВЦТ зразках ВМ дещо збільшилася (на 0,9 і 1,0 % відповідно для зразків 1 і 2 в порівнянні з контрольним зразком), що свідчить про диспергування (дроблення) жирових кульок під дією ВЦТ. Середня площа жирових кульок у зразках 1 і 2 зменшилася на 4,6 і 8,7 %, що свідчить про зменшення обсягу жирових кульок під дією ВЦТ. Однак периметр жирових кульок зразків 1 і 2 зменшився на 18 і 21,9 % відповідно. Пояснити цю обставину можна, використавши показник «діаметр Фере» (еквівалентний діаметр), який у розглянутих зразків також зменшився на 22 і 29 %. Наведені цифри можна пояснити тим, що ВЦТ призводить до зміни форми жирових кульок – вони набувають більш правильної округлої форми. Це підтверджує параметр округлості жирових кульок, який у зразках 1 і 2 виріс на 5,3 і 9 % відповідно. Збільшився параметр компактності на 4,7 і 7,1 %, знизився параметр подовженості на 13,0 і 10,1 %. При цьому ми врахували, що під час виходу з маслоутворювача тільки 12 % жиру знаходиться в затверділому стані, на мікрофотографіях між частинками жиру, вологи та повітряними бульбашками знаходиться ще не отверділий жир.

Отже, обробка ВМ ВЦТ призводить до дроблення його жирових кульок, підвищення їх компактності, вони набувають більш правильної округлої форми.

Під дією ВЦТ змінилися характеристики дисперсності частинок вологи. Середня кількість частинок вологи після обробки ВЦТ зразків 1 і 2 зменшилася на 1 %, проте їх середня площа зменшилася на 16,8 і 15 % відповідно. Середнє значення їх периметра зменшилося на 14,8 і 21,5 %, а діаметр Фере зменшився на 21,4 і 25,7 % відповідно.

У контрольних зразках ВМ середнє значення діаметра Фере (еквівалентний діаметр) дорівнює 3,98 мкм (Для порівняння: у працях [1, 2, 4] середнє значення діаметра частинок вологи у ВМ, виробленому методом збивання, зокрема періодичного (D_{cp}) становить 3,26 мкм, під час безперервного збивання – 3,2 мкм, у ході застосування способу перетворення високожирних вершків – 4 мкм). Параметр подовженості зменшився на 10,3 і 14,1 %; параметр округлості збільшився на 28,3 і 27 % відповідно, і компактність частинок вологи збільшилася на 1,2 і 8,3 %.

Отже, ВЦТ призводить до підвищення дисперсності ВМ, що сприяє покращенню його споживчих властивостей і уповільненню окислювальних процесів і розвитку патогенної мікрофлори у ВМ.

Обробка ВЦТ призводить до значного зменшення кількості бульбашок повітря на 36,9 і 34,5 % для зразків 1 і 2. Їх середня площа зменшилася на 7,8 і 12,6 %. Середнє значення їх периметра зменшилася на 10,3 і 20,2 % та середнє значення діаметра Фере – на 30,6 і 33,2 % відповідно. Порівняльний аналіз наведених значень показує, що обсяг бульбашок газової фази зменшився, і бульбашки повітря прагнуть набути форми правильної сфери. Це підтверджує і збільшення параметра округлості на 2,4 і 3,4 % і збільшення компактності бульбашок газової фази на 12,9 і 15,3 %.

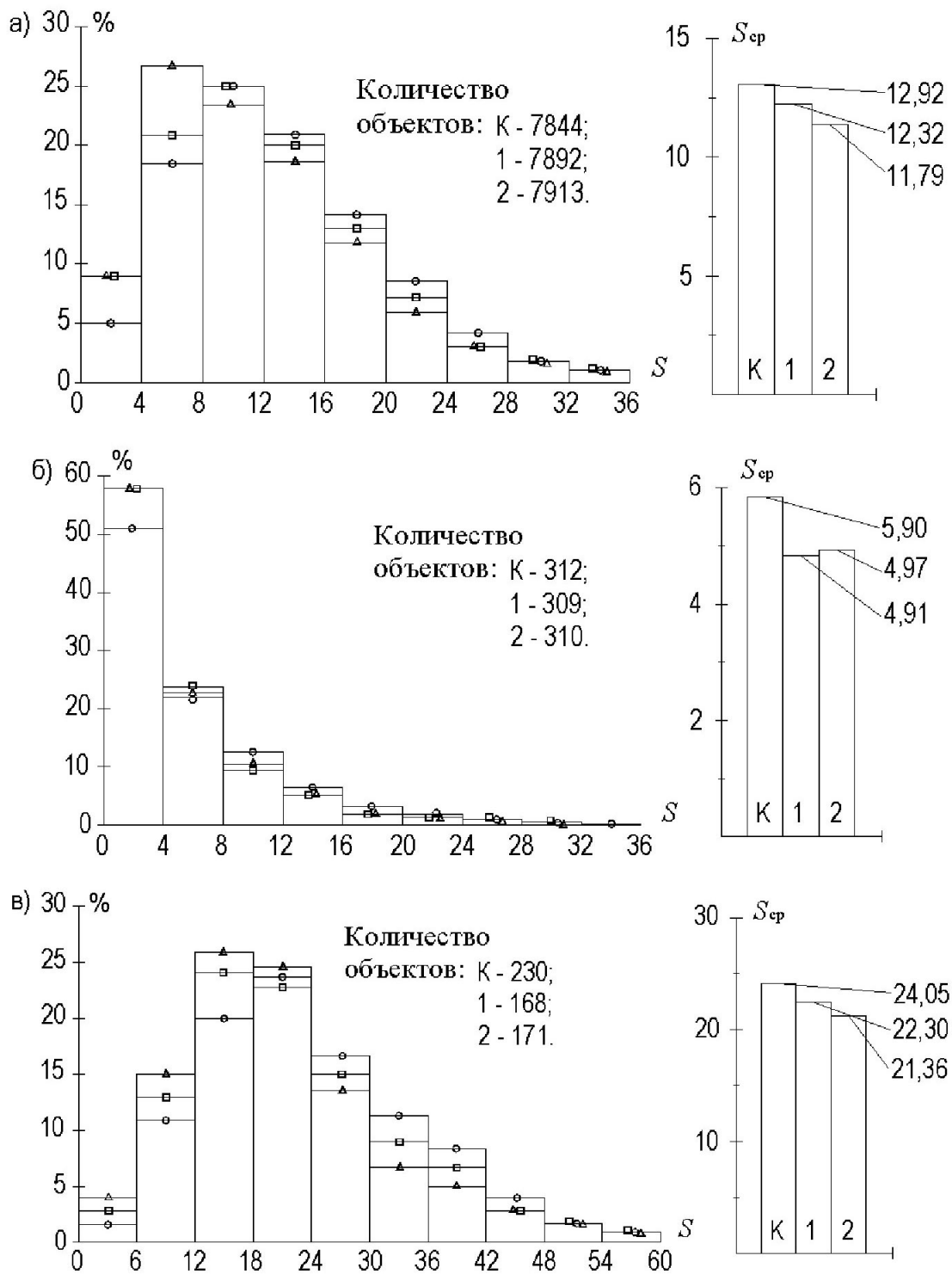


Рис. 2. Гістограми, що згладжують функції розподілу та середнє значення параметра площі: а) жирових кульок, б) часток вологі, в) бульбашок повітря у зразках ВМ: К (○) – контрольний зразок, 1 (□) і 2 (Δ) – ВМ, обробленого ВЦТ. Площа поля зору – 114355,93 мкм²; інтервал – 1 мкм²

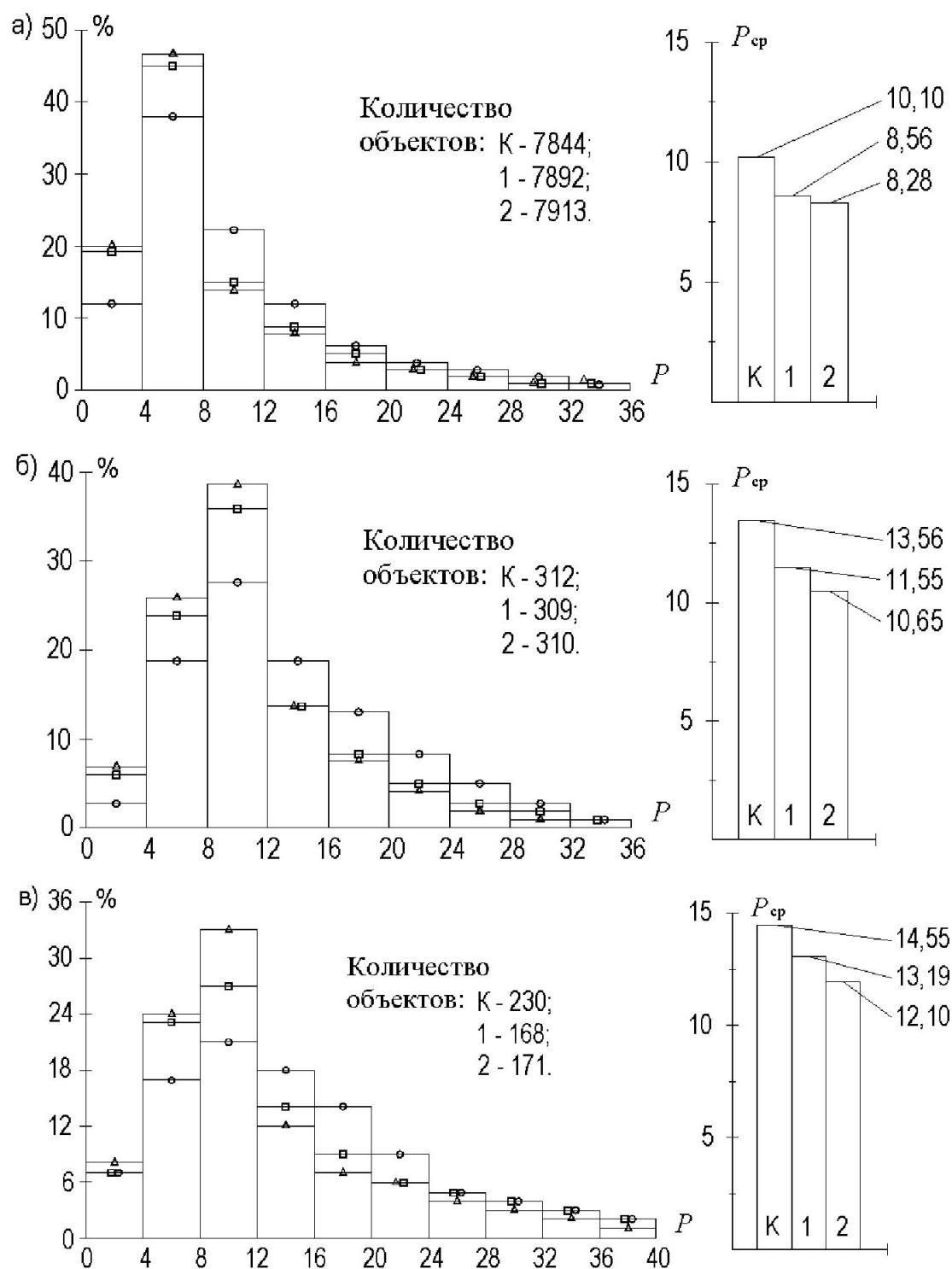


Рис. 3. Гістограми, що згладжують функції розподілу та середнє значення параметра периметра: а) жирових кульок, б) часток вологи, в) бульбашок повітря у зразках ВМ: К (○) – контрольний зразок, 1 (□) і 2 (Δ) – ВМ, обробленого ВЦТ.

Площа поля зору – 114355,93 мкм²; інтервал – 0,5 мкм

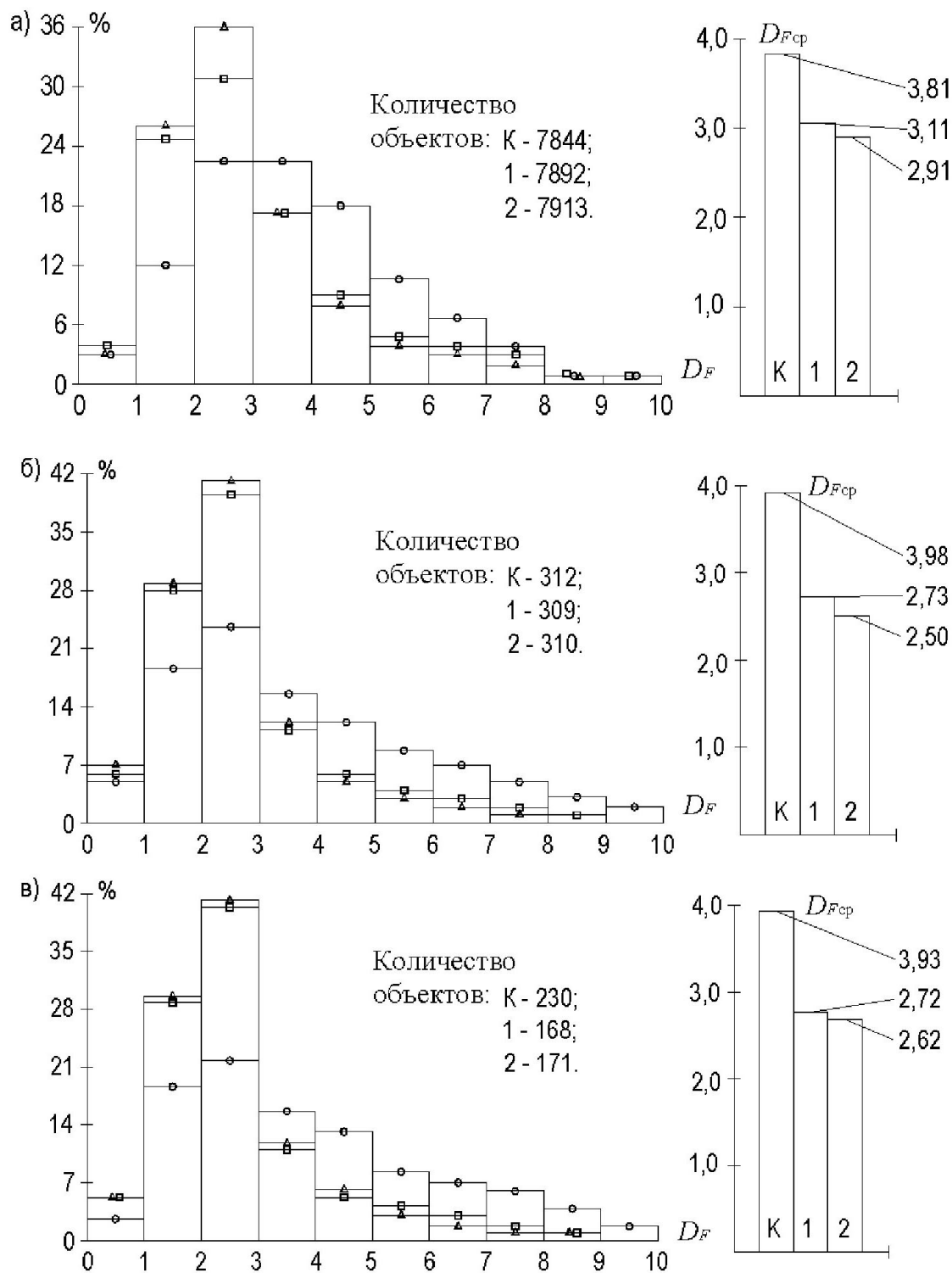


Рис. 4. Гістограми, що згладжують функції розподілу та середнє значення параметра діаметра Фере: а) жирових кульок, б) часток вологи, в) бульбашок повітря в зразках ВМ: К (○) – контрольний зразок, 1 (□) і 2 (Δ) – ВМ, обробленого ВЦТ. Площа поля зору – 114355,93 мкм²; інтервал – 0,1 мкм

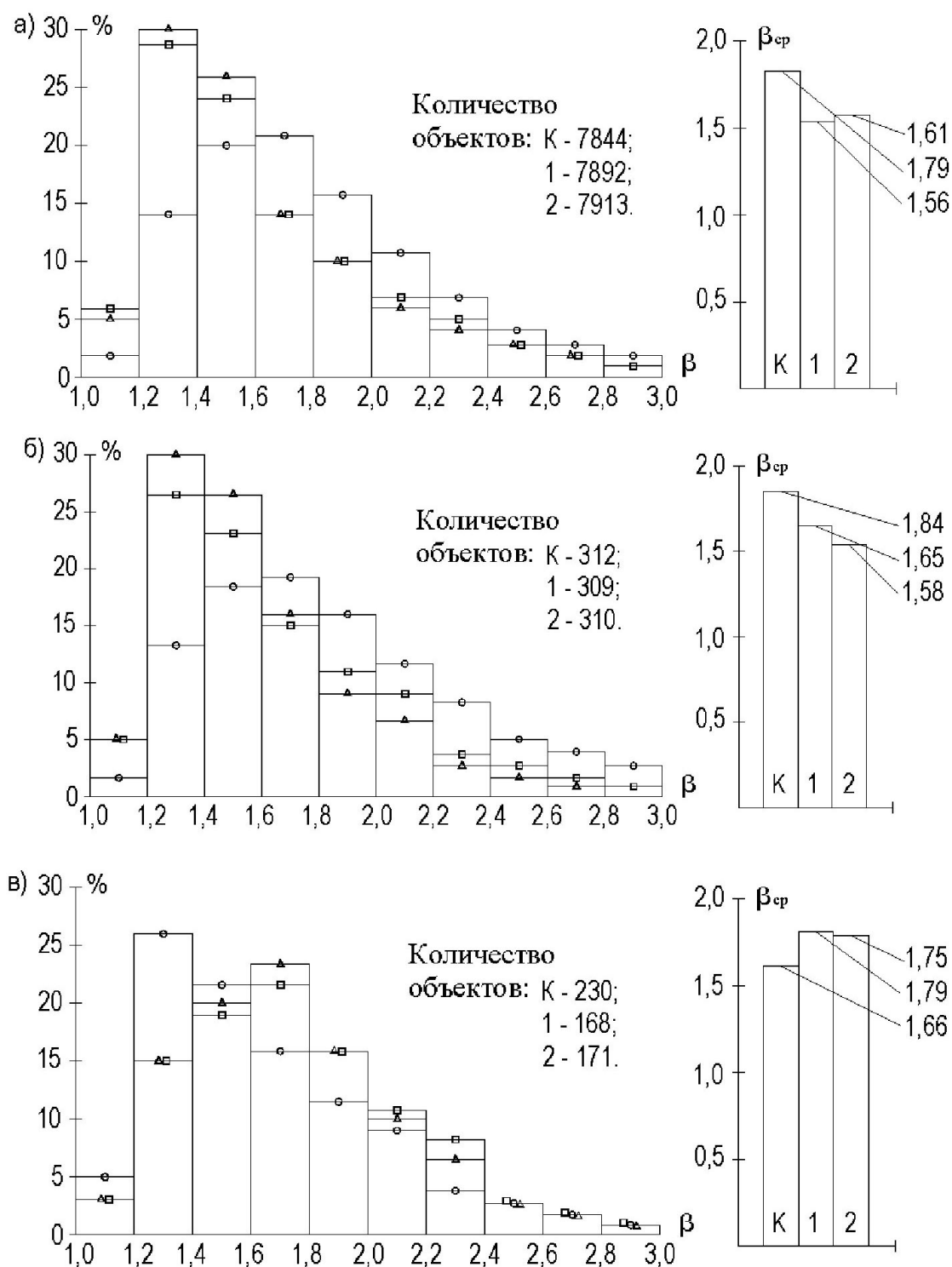


Рис. 5. Гістограми, що згладжують функції розподілу та середнє значення параметра подовженості: а) жирювих кульюк, б) частюк вологи, в) бульбашюк повітря в зразках ВМ: К (○) – контрольний зразюк, 1 (□) і 2 (Δ) – ВМ, обробленюго ВЦТ.

Площа поля зору – 114355,93 мкм²; інтервал – 0,05

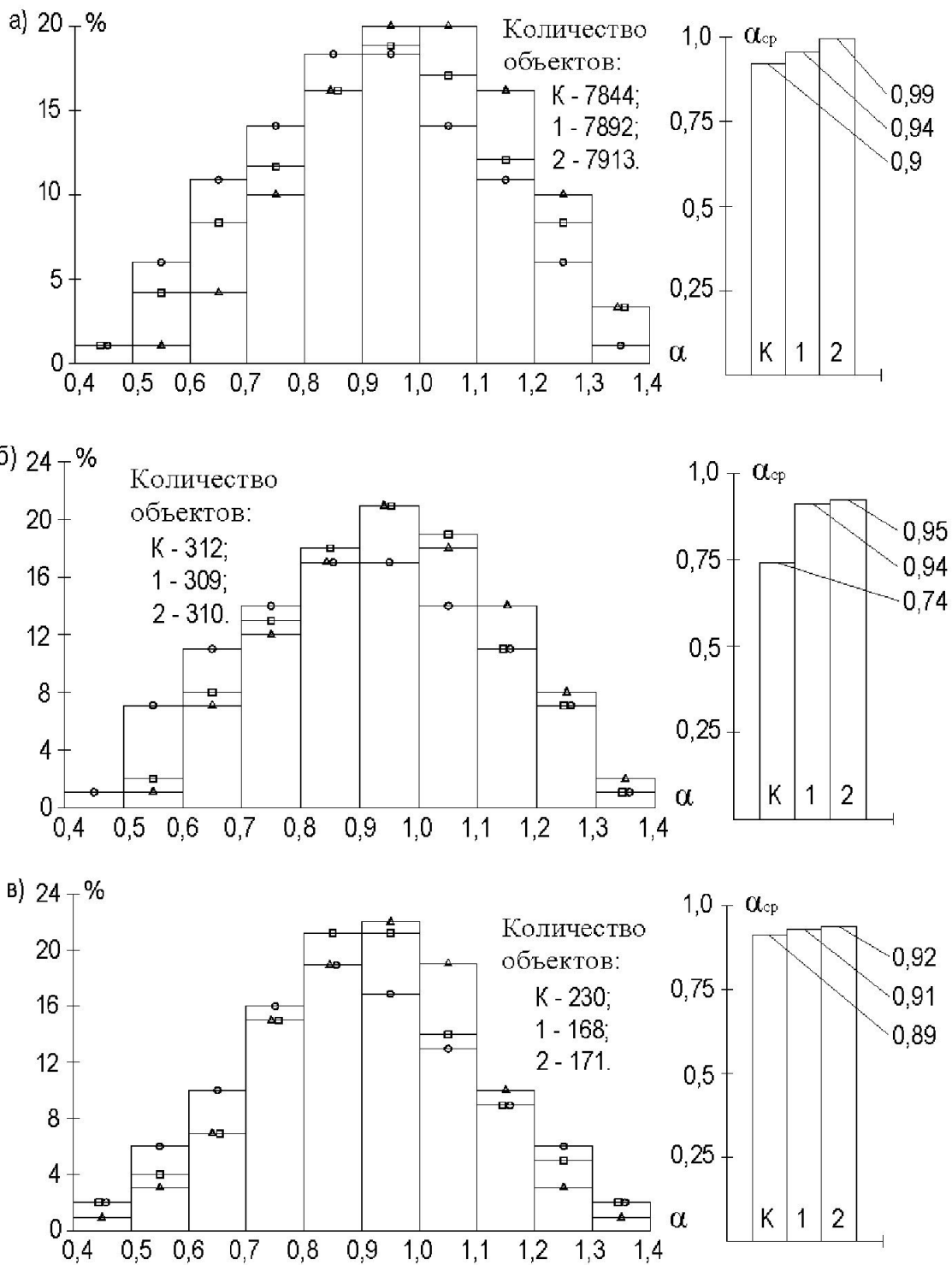


Рис. 6. Гістограми, що згладжують функції розподілу та середнє значення параметра округлості: а) жирових кульок, б) часток вологи, в) бульбашок повітря в зразках ВМ: К (○) – контрольний зразок, 1 (□) і 2 (Δ) – ВМ, обробленого ВЦТ.

Площа поля зору – 114355,93 мкм²; інтервал – 0,01

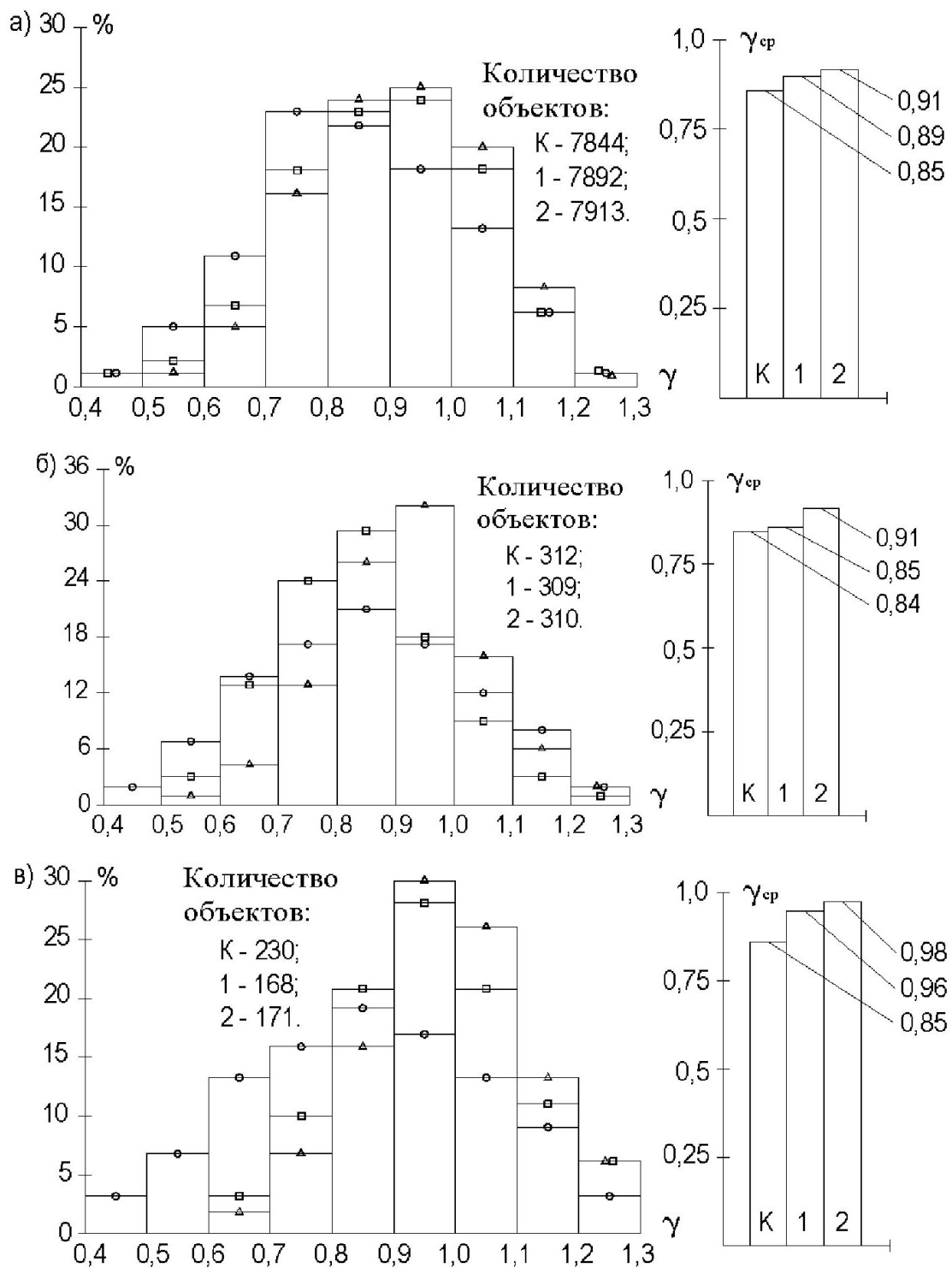


Рис. 7. Гістограми, що згладжують функції розподілу та середнє значення параметра компактності: а) жирових кульок, б) часток вологи, в) бульбашок повітря в зразках ВМ: К (○) – контрольний зразок, 1 (□) і 2 (Δ) – ВМ, обробленого ВЦТ.

Площа поля зору – 114355,93 мкм²; інтервал – 0,01

Обробка ВМ ВЦТ призводить до зміни не тільки мікроструктури, але і його наноструктури. Причому зміни мікро- і наноструктури взаємопов'язані та одночасно впливають одна на одну.

Висновки із зазначених проблем і перспективи подальших досліджень. Обробка ВЦТ ВМ призводить до зміни його наноструктури – зменшення внутрішньої вільної поверхні нанопор жирової фази, що ускладнює доступ кисню в нанопори та підвищує стійкість гліцеридів до окислення. Обробка ВЦТ гальмує гідроліз жирів, сприяє зменшенню глибини перекисного окислення жиру і, відповідно, знижує активність утворення вторинних продуктів окислення, що покращує якість і біологічну цінність вершкового масла.

Подальші дослідження будуть спрямовані на вивчення наноструктури ВМ і встановлення взаємозв'язків між дисперсними характеристиками ВМ, його споживчими властивостями та характером окислювальних процесів, що впливають на терміни зберігання ВМ. Отримані результати сприятимуть виконанню головної технологічної завдання управління процесом структуроутворення стосовно до способу виробництва масла із застосування ВЦТ – отримання ВМ гарної консистенції з високими споживчими властивостями.

ЛІТЕРАТУРА

1. Производство сливочного масла: Справочник / Андрианов Ю. П., Вышемирский Ф. А., Качераускис Д. В. и др. ; под ред. д-ра техн. наук Ф. А. Вышемирского. – Москва : Агропромиздат, 1988. – 303 с.
2. Белоусов А. П. Физико-химические процессы в производстве масла сбиванием сливок / Белоусов А. П. – Москва : Легкая и пищевая пром-сть, 1984. – 264 с.
3. Вышемирский Ф. А. Консистенция сливочного масла как показатель качества / Вышемирский Ф. А., Топникова Е. В. // Сыроделие и маслоделие. – 2008. – № 1. – С. 41–44.
4. Грищенко А. Д. Сливочное масло / Грищенко А. Д. – Москва : Легкая и пищевая пром-сть, 1983. – 294 с.
5. Knoop E. Die Elektronenmikroskopische Untersuchungen über die physikalische Struktur der Butter / Knoop E., Knoop A. E. // Milchwissenschaft. – 1962. – Bd. 17. – № 11. – P. 604–608.
6. King N. The Physicalstructure of Butter / King N. // Dairy Sci. Abstr. – 1964. – Vol. 26, № 4. – P. 151–162.
7. Михайлов Н. В. О структурно-механических свойствах дисперсных и высокомолекулярных систем / Михайлов Н. В., Ребиндер П. А. // Коллоидный журнал. – 1955. – Т. 17, № 2. – С. 107–119.
8. Николаев Б. А. Измерение структурно-механических свойств пищевых продуктов / Николаев Б. А. – Москва : Экономика, 1964. – 224 с.
9. Качераускис Д. Определение упруго-эластических и прочностных свойств сливочного масла и ферментных сыров / Качераускис Д., Бержинскас Г. // Труды литовского филиала ВНИИМСа. – 1967. – Т. 2. – С. 99–115.
10. Белоусов А. П. Исследование физико-химических процессов в производстве сливочного масла : автореф. дисс. на соискание ученой степени д-ра техн. наук / Белоусов А. П. – Москва, 1972. – 84 с.
11. Белоусов А. П. О термоустойчивости сливочного масла поточной выработки / Белоусов А. П. // Молочная промышленность. – 1963. – № 9. – С. 14–18.
12. Василисин С. В. Влияние количества и степени дисперсности плазмы на выраженность вкуса вологодского масла. Научно-техническая информация / Василисин С. В., Вышемирский Ф. А. // Молочная промышленность. – 1971. – Вып. 9. – С. 20–26.

13. Гуляев-Зайцев С. С. Способность сливочного масла связывать жидкий жир и метод ее определения / Гуляев-Зайцев С. С., Руденко Л. И. // Тезисы докладов III науч.-техн. конф. УкрНИИММПа. – Киев, 1969. – Ч. 3. – С. 46–48.
14. Haighton A. J. Die Konsistenz von Margarine und Fetten / Haighton A. J. // Fette Saifen, Anstrichmittel. – 1963. – № 6. – P. 479–482.
15. Агиенко К. С. Пути улучшения консистенции масла, вырабатываемого на поточных линиях. Научно-техническая информация / Агиенко К. С, Арбатская Н. И. // Молочная промышленность. – 1970. – Вып. 6. – С. 3–8.
16. Качераускис Д. Реологические и некоторые структурные свойства масла и методы их определения / Качераускис Д. // Труды литовского филиала ВНИИМСа. – Вильнюс, 1974, т. 9. – С. 33–39.
17. Ternström A. Classification of the spoilage flora of raw and pasteurized bovine milk, with special reference to *Pseudomonas* and *Bacillus* / Ternström A., Lindberg A. M. and Molin, G. // Journal of Applied Bacteriology. – 1993. – № 75. – P. 25–34.
18. Фурман Я. А. Цифровые методы обработки и распознавания бинарных изображений / Фурман Я. А., Юрьев А. Н., Яшин В. В. – Красноярск : Изд-во Краснояр. ун-та, 1992. – 248 с.
19. Распознавание образов. Состояние и перспективы / К. Верхаген, Р. Дейн, Ф. Грун и др. ; пер. с англ. под ред. И. Б. Гурьевича. – Москва : Радио и связь, 1985. – 104 с.
20. Фомин Я. А. Статистическая теория распознавания образов / Фомин Я. А., Тарловский Г. Р. – Москва : Радио и связь, 1986. – 264 с.
21. Bernd Jahne. Digital image processing with CD-ROM / Bernd Jahne; Heidelberg. – New York ; Barcelona ; Hong Kong ; London ; Milan ; Paris ; Tokio ; Springer, 2002. – 585 p.
- REFERENCES**
1. Andrianov, Ju. P., Vyshemirskij, F. A., Kacherauskis, D. V. (1988). Proizvodstvo slivochnogo masla: Spravochnik [Butter production: Directory]. Moscow: Agropromizdat, 303 p. [in Russian].
 2. Belousov, A. P. (1984). Fiziko-himicheskie processy v proizvodstve masla sbivaniem slivok [Physical and chemical processes in the production of oil churning cream]. Moscow: legkaja i pishhevajapromyshlennost', 264 p. [in Russian].
 3. Vyshemirskij, F. A., Topnikova, E. V. Konsistencija slivochnogo masla kak pokazatel' kachestva. *Syrodellie i maslodellie – Cheesemaking and butter manufacturing*. 2008, № 1, pp. 41–44 [in Russian].
 4. Grishhenko, A. D. Slivochnoe maslo [Butter]. Moscow: Legkaja i pishhevaja promyshlennost', 1983, 294 p. [in Russian].
 5. Knoop, E., Knoop, A. E. Die Elektronenmikroskopische Untersuchungen über die physikalische Struktur der Butter. *Milchwissenschaft – Dairy Science*, 1962, Bd. 17, no. 11, pp. 604–608 [in German].
 6. King, N. The Physical structure of Butter. *Dairy Sci. Abstr*, 1964, vol. 26, no 4, pp. 151–162 [in German].
 7. Mihajlov, N. V., Rebinder, P. A. O strukturno-mehaničeskikh svojstvah dispersnyh i vysokomolekuljarnyh sistem. *Kolloidnyj zhurnal – Colloid journal*, 1955, t. 17, № 2, pp. 107–119. [in Russian].
 8. Nikolaev, B. A. (1964). Izmerenie strukturno-mehaničeskikh svojstv pishhevych produktov [Changing the structural and mechanical properties of foods]. Moscow: Ekonomika, 224 p. [in Russian].
 9. Kacherauskis, D., Berzhinskas, G. Opredelenie uprugojelastičeskikh i prochnostnyh svojstv slivochnogomasla i fermentnyh syrov. *Trudy Litovskogo filiala VNIIMSa – Transactions*

- tions of the Lithuanian branch of VNIIMS, 1967, t. 2, pp. 99–115 [in Russian].
10. Belousov, A. P. Issledovanie fiziko-himicheskikh processov v proizvodstve slivochnogo masla : avtoref. dyss. na soyskanye uchenoj stepeny d-ra tekhn. nauk. – Moscow, 1972, 84 p. [in Russian].
 11. Belousov, A. P. O termoustojchivosti slivochnogo masla potочноj vyrabotki. *Molochnaja promyshlennost' – Dairy industry*, 1963, № 9, pp. 14–18 [in Russian].
 12. Vasilisin, S. V., Vyshemirskij, F. A. Vlijanie kolichestva i stepeni dispersnosti plazmy na vyrazhennost' vkusa vologodskogo masla. Nauchno-tehnicheskaja informacija. *Molochnaja promyshlennost' – Dairy industry*, 1971, vyp. 9, pp. 20–26 [in Russian].
 13. Guljaev-Zajcev, S. S., Rudenko, L. I. Spособnost' slivochnogo masla svjazyvat' zhidkij zhir i metod ee opredelenija. Tezisy dokladov III nauchno-tehnicheskoi konferencii UkrNIIMMPa [Abstracts of scientific and engineering III. Conf. UkrNII MMPa]. Kiev, 1969, ch. 3, pp. 46–48 [in Russian].
 14. Haighton, A. J. Die Konsistenz von Margarine und Fetten. *Fette Saifen, Anstrichmittel – Fats soaps, paints*, 1963, no. 6, pp. 479–482 [in German].
 15. Agienko, K. S., Arbatskaja, N. I. Puti uluchshenija konsistencii masla, vyrabatyvaemogo na potочnyh liniyah. Nauchno-tehnicheskaja informacija. *Molochnaja promyshlennost' – Dairy industry*, 1970, no. 6, pp. 3–8 [in Russian].
 16. Kacherauskis, D. Reologicheskie i nekotorye strukturnye svojstva masla i metody ih opredelenija. *Trudy litovskogo filiala VNIIMSa – Transactions of the Lithuanian branch of VNIIMS*. Vil'njus, 1974, t. 9, pp. 33–39 [in Russian].
 17. Ternström, A., Lindberg, A. M. and Molin, G. Classification of the spoilage flora of raw and pasteurized bovine milk, with special reference to *Pseudomonas* and *Bacillus*. *Journal of Applied Bacteriology*, 1993, no. 75, pp. 25–34 [in English].
 18. Furman, Ja. A., Jur'ev, A. N., Jashin, V. V. Cifrovye metody obrabotki i raspoznavanija binarnyh izobrazhenij [Digital methods of processing and recognition of the binary image]. Krasnojarsk: Izd-vo Krasnojarsk. un-ta, (1992), 248 p. [in Russian].
 19. Verhagen K., Dejn R., Grun F. i dr. Per. s angl. podred. Gur'evicha I. B. Raspoznavanie obrazov. Sostojanie i perspektivy [Pattern recognition. Status and Prospects]. Moscow: Radio i svjaz', 1985, 104 p. [in Russian].
 20. Fomin, Ja. A., Tarlovskij, G. R. Statisticheskaja teorija raspoznavanija obrazov [Statistical theory of pattern recognition]. – Moscow: Radio i svjaz', 1986, 264 p. [in Russian].
 21. Bernd Jahne. Digital image processing with CD-ROM. Heidelberg, New York, Barcelona, Hong Kong, London, Milan, Paris, Tokio, Springer, 2002, 585 p. [in English].

В. А. Сукманов, доктор технических наук, профессор (Высшее учебное заведение Укоопсоюза «Полтавский университет экономики и торговли»); **А. А. Палаш**, кандидат технических наук (Полтавский техникум пищевых технологий Национального университета пищевых технологий). **Структурообразование и дисперсионный анализ сливочного масла, обработанного высоким циклическим давлением.**

Аннотация. Цель работы – исследование и сравнительный анализ структуры сливочного масла, произведенного как по традиционной технологии (преобразование высокожирных сливок), так и по технологии с использованием высокого циклического давления.

Объект исследования – образцы сливочного масла жирностью 72,5 %, сливочное крестьянское, ДСТУ 4399:2005 «Масло сливочное. Технические условия», обработанные высоким

циклическим давлением непосредственно после выхода сливочного масла с маслообразователя. При выполнении работы были использованы фотографирование микроструктуры образцов масла, обработки полученных изображений в компьютерной программе с использованием дискретных цепей Маркова, статистический анализ результатов и обобщение.

Обработку масла осуществляли на исследовательском комплексе для обработки пищевых продуктов высоким давлением согласно разработанной циклограммы: значение максимального давления от 200 до 350 МПа; продолжительность обработки – от 5 до 20 мин; скорость импульса при росте давления 1, 5, 10 МПа / с и скорость импульса при снижении давления 250, 20, 5 МПа/с. Количество циклов – от 1 до 5.

Получили характеристики дисперсности исследуемых образцов: пространственная площадь, пространственный периметр, закругленность, удлинённость, диаметр Фере, компактность, эквивалентный диаметр жировых шариков, частиц влаги и пузырьков воздуха соответственно.

Установлено, что обработка высоким циклическим давлением масла приводит к изменению его структуры – уменьшение внутренней свободной поверхности нанопор жировой фазы, что затрудняет доступ кислорода в нанопоры и повышает устойчивость триглицеридов к окислению. Обработка высоким циклическим давлением тормозит гидролиз жиров, способствует уменьшению глубины перекисного окисления жира и, соответственно, снижает активность образования вторичных продуктов окисления, улучшает качество и биологическую ценность сливочного масла для потребителя.

Ключевые слова: сливочное масло, потребительское качество, дисперсность, микроструктура, высокое циклическое давление.

V. Sukmanov, Dc. Tech. Sci., Professor (Poltava University of Economics and Trade); **A. Palash**, Cand. Tech. Sci. (Poltava College of Food Technology National University of Food Technologies). **Structure formation and dispersniy analysis butter, finished with high cyclic pressure.**

Summary. Abstract. Objective – research and comparative analysis of the structure of butter produced both by traditional technology (transformation high-fat cream) and by technology using high-pressure cycle.

The object of study – samples of butter 72,5 % fat, sweet-cream, peasant, DSTU 4399:2005 "Butter. Specifications" high-pressure cycle processed directly after the butter with butter-forming.

In the performance used photography microstructure of butter, processing the images to a computer program using discrete Markov chains, statistical analysis of results and synthesis.

Butter processing performed on the experimental complex for processing food under high pressure developed sequence diagram: the value of the maximum pressure of 200 to 350 MPa; processing time – from 5 to 20 minutes; pulse rate with increasing pressure of 1, 5, 10 MPa/s and speed while reducing the pressure pulse 250, 20, 5 MPa/s. Number of cycles - from 1 to 5.

Got dispersion characteristics of the samples, the spatial area, spatial perimeter, roundness, lengthy, diameter Feret, compactness equivalent diameter of the fat globules, particles of moisture and air bubbles respectively.

It is established that processing of cyclic high pressure of butter leads to changes in its structure – reducing internal free surface nanopores fat phase, which hinders access of oxygen in nanopores glycerides and increases resistance to oxidation. Processing cyclical high pressure inhibits the hydrolysis of fats, helps reduce the depth of peroxidation of fat and therefore reduces the activity of formation of secondary oxidation products, which improves the quality and biological value of butter for consumers.

Keywords: butter, consumer quality, dispersion, microstructure, high cyclic pressure.