

МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ТОВАРІВ

УДК 663.938.4:658.62.018 DOI: [https://doi.org/10.31617/tr.knute.2019\(30\)03](https://doi.org/10.31617/tr.knute.2019(30)03)

Діна ФЕДОРОВА д. т. н., доцент, професор кафедри технології та організації ресторанного господарства Київського національного торговельно-економічного університету вул. Кіото, 19, м. Київ, 02156, Україна
E-mail: dina_fedorova@ukr.net
ORCID: 0000-0002-9443-2941

Роман РОМАНЕНКО к. т. н., доцент, доцент кафедри інженерно-технічних дисциплін Київського національного торговельно-економічного університету вул. Кіото, 19, м. Київ, 02156, Україна
E-mail: romanco@ukr.net
ORCID: 0000-0003-3090-9250

Раміс РАСУЛОВ к. т. н., доцент, доцент кафедри інженерно-технічних дисциплін Київського національного торговельно-економічного університету вул. Кіото, 19, м. Київ, 02156, Україна
E-mail: rarami@i.ua
ORCID: 0000-0003-4140-3386

ВИЗНАЧЕННЯ ДИСПЕРСНОСТІ КАВИ МЕЛЕНОЇ МІКРОСКОПІЧНИМ МЕТОДОМ

Проаналізовано специфікації цифрових оптичних мікроскопів і наведено їхні характеристики: розмір поля зображення, кратність збільшення та роздільні здатності матриць. Розглянуто алгоритм проведення дисперсного аналізу за мікрофотографіями на прикладі зразків кави меленої, що містить у собі роботу в програмах обробки зображення Cooling Tech 4.5, Micro-Measure Tool, Image Tool; розрахунку залежності й побудови кривих розподілу дисперсності; визначення параметрів статистичних розподілів. Зазначено можливості та обмеження розглянутого програмного забезпечення.

Ключові слова: оптичний мікроскоп, цифровий USB-мікроскоп, автоматизація гістологічного аналізу, дисперсний аналіз, кава мелена.

Федорова Д., Романенко Р., Расулов Р. Определение дисперсности кофе молотого микроскопическим методом. Проанализированы спецификации цифровых оптических микроскопов и представлены их характеристики: размер поля изображения, кратность увеличения и разрешения матриц. Рассмотрен алгоритм проведения дисперсного анализа по микрофотографиям на примере образцов кофе молотого, который включает в себя работу в программах обработки изображения

Cooling Tech 4.5, Micro-Measure Tool, Image Tool; расчета зависимости и построения кривых распределения дисперсности; определения параметров статистических распределений. Указаны возможности и ограничения рассматриваемого программного обеспечения.

Ключевые слова: оптический микроскоп, цифровой USB-микроскоп, автоматизация гистологического анализа, дисперсный анализ, кофе молотый.

Постановка проблеми. У харчових технологіях широко застосовуються різні дисперсні системи: порошки, суспензії, золі, емульсії тощо. Встановлення розмірів і форм частинок – елементів дисперсної фази має пріоритетне значення, оскільки саме ці параметри визначають чимало фізичних і технологічних властивостей сипкого продукту.

Якість кави визначається переважно дисперсністю її помелу. Дрібний помел застосовується для заварювання, і його не рекомендовано для приготування напою у кавомашинах еспресо через можливість забивання сита в холдері. У кавомашинах використовується кава великого або середнього помелу. На більшості жорнових кавомолок виставляється ступінь помелу від 1 до 10 одиниць, проте іноді він визначається часом роботи і залежить здебільшого від працівника.

Однак якість помелу кави визначається не лише розміром частинок, а й рівномірністю їхніх розмірів. Дисперсність кави, змеленої на жорнових кавомолках постійної дії, як правило, співрозмірна. Але розміри частинок кави, змеленої на роторних кавомолках, мають високу дисперсність. Це може призвести до забивання сита в холдері та, відповідно, зростання витрат електроенергії й зменшення ресурсу роботи кавоварки.

Одним із найпростіших методів визначення дисперсності помелу кави є мікроскопічний метод, під час якого фотографія робиться за допомогою цифрового оптичного обладнання. Існує думка, що оптичні характеристики матриць і стабільність роботи програмного забезпечення обладнання від виробників із КНР не повністю справджують сподівання дослідників. Саме тому для аналізу дисперсного складу сухих продуктів, наприклад кави меленої, зазвичай використовують оптичні бінокулярні мікроскопи із вбудованою камерою [1].

Завдяки розвитку технологій цифрових матриць характеристики недорогих USB-мікроскопів постійно покращуються. Нині серед пропозицій наявні зразки обладнання в ціновому діапазоні 2000–5000 грн із характеристиками, що цілком уможливають проведення дисперсного аналізу сипких харчових продуктів. Проте упереджене ставлення до цієї категорії вимірювальних приладів спричиняє недовіру й надмірну вузькість сегменту досліджень, під час яких використовують повний потенціал недорогого обладнання.

Найпоширенішим методом дисперсного аналізу досліджуваної системи є визначення розмірів, кількості й форми частинок за готовими фотографіями мікроструктури [2]. Саме тому цікавим є виготовлення

фотографій мікроструктури зразка за допомогою різних оптичних мікроскопів і визначення його дисперсного складу з використанням програмних продуктів, які надаються виробниками разом з обладнанням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У наукових дослідженнях широко застосовуються програмні продукти для автоматизації процесів морфометрії та дисперсного аналізу на оптичних мікроскопах. Однак більшість програмних комплексів занадто дорогі й мають складний функціонал, який досить важко використовувати для гістологічного аналізу харчових продуктів [3].

Загальноприйнятим програмним продуктом із відкритим кодом, що працює в середовищі найпоширеніших операційних систем (ОС) – *Windows, MAC OS, Linux*, – є *ImageJ* [4]. Цей додаток дає змогу автоматизувати вимірювання розмірів об'єктів, працювати як з готовими фотографіями, так і з трансляціями відеопотоків із мікроскопів під час проведення дисперсного аналізу [5].

Дослідником Мициком О. В. розроблено рекомендації для автоматизації гістологічних досліджень дисперсних матеріалів за допомогою програми *ImageJ*, що уможливорює мінімізувати вплив суб'єктивного погляду дослідника на результати вимірювання розмірів клітин [6].

Головним недоліком *ImageJ*, спричиненим його універсальністю, є необхідність перед аналізом кожного нового зображення проводити додаткове калібрування програми. Останнє виконується переважно за розмірною планкою, яка розміщена в правому нижньому куті фотографії мікроструктури [7], проте не все програмне забезпечення мікроскопів передбачає її відображення. Ця функція відсутня в програмному забезпеченні приладів, дешевших за 25 тис. грн.

Встановлено, що дисперсний склад кави, змеленої на жорнових кавомолках постійної дії – *Graef CM 802, Delonghi KG 520M, Delonghi KG 79*, – суттєво відрізняється від кави, змеленої на роторній кавомолці періодичної дії: більшість частинок за розмірами – 20–250 мкм, тобто мають суттєву дисперсію та нерівномірний фракційний склад [8].



Мета дослідження – тестування обладнання і програмного забезпечення для дисперсного аналізу сипких матеріалів на прикладі кави меленої з використанням оптичних цифрових мікроскопів.

Матеріали та методи. У дослідженні використано цифрові мікроскопи *500x SDM, CL PC camera 4.5, BW-400X*, які входять до цінного діапазону 2500–5000 грн. Усі прилади не обладнані окуляром або власним дисплеєм, мають світлодіодне пряме підсвічування та роздільну здатність від 3 до 8 Мп. Підключення до персонального комп'ютера (ПК) здійснюється через інтерфейс USB. Калібрування та властивості матриць цифрових камер виконано на ПК з ОС *Windows 7*, оскільки робота програмного продукту *Cooling Tech 4.5* на *Windows 10* виявилася нестабільною.

Огляд функцій трьох програмних додатків для аналізу фотографій мікроструктури, зокрема дисперсного аналізу сипких продуктів, наведено в *табл. 1*.

Таблиця 1

Комплектація мікроскопів програмним забезпеченням
для аналізу мікрофотографій

Мікроскоп	Програмне забезпечення
500x SDM	<p><i>Micro-Measure Tool 3.3</i></p> <p>MicroMeasure for Windows Version: 3.3 Author: Aaron Reeves Date: October 17, 2000 WWW: http://www.colostate.edu/Depts/Biology/MicroMeasure Email: areeves@lamar.colostate.edu</p>
CL PC camera 4.5	<p><i>Cooling Tech 4.5</i></p>  <p>CoolingTech Version 4.5</p>
BW-400X	<p><i>Image Tool V300 (на основі ImageJ)</i></p> <p>Non-destructive marking and linked results</p> <p>ObjectJ</p>  <p>A plugin for ImageJ</p> <p>Norbert Vischer Stelian Nastase University of Amsterdam</p>

Досліджено каву ТМ *Lavazza*, від якої з різних частин спожиткової тари відібрано чотири точкові проби за прийнятою методикою [8]. Виконано по 5 фотографій мікроструктури з кожної точкової проби зразка з відстані 0.5–1.5 мм за роздільної здатності камер від 3 до 5 Мп.

Дисперсний аналіз зразків кави проведено з використанням програмного забезпечення, наданого виробниками мікроскопів.

Результати дослідження. Перед визначенням дисперсності сипких продуктів встановлено форму частинок, яка у найпростішому випадку є сферичною [9]. Однак у дійсності порошки зі сферичними частинками зустрічаються нечасто, більшість сипких продуктів складаються з частинок неправильної форми. Для фізичного опису форми частинок зазвичай використовують такі параметри, як фактор форми або коефіцієнт несферичності.

Існують різні способи усереднення розмірів частинок, вибір яких залежить від застосовуваного методу дисперсного аналізу. Найчастіше в полідисперсних харчових системах використовується метод середньомасового діаметра [10]. Для спрощення дисперсного аналізу доцільно знехтувати фактором форми, припустивши, що всі частинки продукту мають сферичну форму, і визначати тільки один їхній розмір – діаметр.

Окрім найбільшого, найменшого і середнього лінійних розмірів частинок найповніше полідисперсність характеризується дисперсним складом матеріалу. Ця характеристика дає змогу встановити відсотковий вміст частинок із певним інтервалом розмірів [11].

Після створення фотографії мікроструктури об'єкта за допомогою цифрового мікроскопа визначити його лінійні розміри за кількістю пікселів на частині зображення теоретично досить нескладно. Проте на практиці згадані вище особливості продукту спричиняють істотну похибку в результатах вимірювань. За порушення методики виконання фотографій мікроструктури виміряні розміри можуть відрізнятись від справжніх у 5–6 разів [12].

Якщо продукт містить частинки з великим діапазоном розмірів, то через недостатню глибину різкості об'єктива мікроскопа неможливо отримати чітке зображення одночасно всіх часточок. У такому випадку малі й великі частинки доцільно фотографувати за різних значень збільшення, на різній фокусній відстані та навіть із різною роздільною здатністю матриці мікроскопа [13].

Матриці використаних у дослідженні мікроскопів дають змогу виконувати фотографії з розмірами від 640×480 до 3264×2448 пікселів та роздільною здатністю від 0.3 до 8 Мп. Оскільки роздільна здатність матриці в комплексі з кратністю об'єктива визначають ступінь збільшення цифрового мікроскопа, дрібні часточки меленої кави фотографували за найбільшої роздільної здатності.

Зазвичай калібрування мікроскопа та програмного забезпечення здійснюється виробником, проте перед виконанням дослідження його проведено додатково. Якість налаштування цифрового мікроскопа та програми для роботи з фотографіями мікрооб'єктів можна перевірити, вимірявши заздалегідь відому відстань (наприклад між однаковими гранями поділок ціною в 1 мм на шкалі мікрометра). Для тонкого калібрування мікроскопів надається калібрувальна таблиця у вигляді полімерної пластини з відповідними позначеннями. Наприклад, у мікроскопі *500x SDM* ціна поділки прямокутної зони калібрувальної шкали становить 0.1 мм.

Якщо значення відстані, показаної інструментами *Parallel* або *Distance Measurement*, будуть відрізнятись від справжньої на 1.5 % і менше, калібрування вважатиметься правильним.

У недорогих цифрових мікроскопах нерідкими є випадки суттєвої інтерполяції розмірів зображення, наприклад, мікроскоп *BW-400X* із матрицею 3 Мп дає змогу виконати фотографії розміром 2592×1944 пікселів, тобто 5 Мп.

Визначено відповідність розміру поля фотографії роздільній здатності та збільшенню цифрового мікроскопа (табл. 2).

Фізична площа поля зображення суттєво не змінюється, проте його цифровий розмір зростає у 26 разів і відповідно збільшується роздільна здатність досліджуваних фотографій, які можна детальніше проаналізувати.

Таблиця 2

Відповідність режимів збільшення та роздільної здатності матриці мікроскопа *CL PC camera 4.5**

Номер режиму	Специфікація режимів				Примітка
	Роздільна здатність, п (0.3 Мп)	Кількість пікселів на 1 мм	Збільшення, разів	Розміри поля зображення, мм	
1	640 × 480 (0.3 Мп)	157±0.5	× 55	3.80 × 2.85	Мінімальне поле зображення є прийнятним для виконання фотографій до публікації
2	1280 × 960 (1.3 Мп)	320±0.5	× 126	4.20 × 3.15	Оптимальна роздільна здатність для комп'ютерів середньої потужності й моніторів середньої роздільної здатності
3	1600 × 1200 (2 Мп)	400±1	× 278	4.40 × 3.30	Оптимальна роздільна здатність для потужних комп'ютерів і моніторів із роздільною здатністю <i>Full HD</i> і вище
4	2048 × 1536 (3 Мп)	510±1	× 342	4.60 × 3.45	Роздільна здатність, яка дає змогу виконувати дисперсний аналіз сипких продуктів
5	2592 × 1944 (5 Мп)	650±2	× 465	4.70 × 3.53	Висока роздільна здатність, зображення певною мірою розмите. Доцільно використовувати для відображення на моніторах із роздільною здатністю 4К
6	3264 × 2448 (8 Мп)	830±2	× 520	4.80 × 3.6	Інтерпольоване зображення, унеможливує розрізнити деталі, дрібніші за доступні в режимах "4" та "5". Використовувати недоцільно

* Калібрування проведено на відстані 0.5–1.5 мм між об'єктом дослідження й об'єктивом.

Виробники обладнання для збільшення характеристик використовують інтерполяцію. Наприклад, під час використання *CL PC camera 4.5* у режимі "6" із роздільною здатністю 3264×2448 п якість зображення не відрізняється від режиму "5" із роздільною здатністю 2592×1944 п (рис. 1). Тобто є висока ймовірність, що в приладі застосовано матрицю з роздільною здатністю 5 Мп, а для отримання зображення розміром 8 Мп використовується цифрова інтерполяція, що не сприяє деталізації зображення, а лише перевантажує комп'ютер й ускладнює дисперсний аналіз частинок.

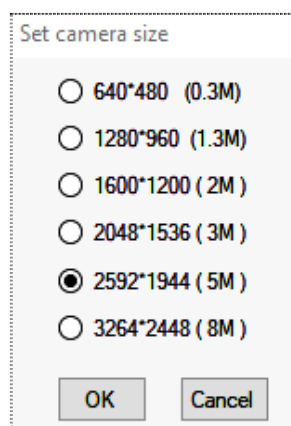


Рис. 1. Встановлення роздільної здатності матриці мікроскопа

Наведені відомості (див. табл. 2) ілюструють необхідність використання для дисперсного аналізу продуктивних ПК із моніторами високої роздільної здатності. Наприклад, дисплея ноутбука з роздільною здатністю 1600×1200 пікселів не вистачає для комфортної роботи з мікроскопом *CL PC camera 4.5* у програмі *Cooling Tech 4.5*. Під час дисперсного аналізу зображення з роздільною здатністю понад 3 Мп без масштабування не можна розмістити на моніторі, що спричиняє незручність роботи з його частиною, а функцію масштабування не підтримують додатки *Cooling Tech 4.5* та *Micro-Measure Tool*.

Для отримання вірогідних результатів підрахунок частинок різних фракцій необхідно проводити не менш як 5 разів на різних ділянках зразка [14]. Для виконання дисперсного аналізу використано фотографії мікроструктури кави меленої, отримані за допомогою оптичних цифрових мікроскопів. На рис. 2 наведено два фрагменти зображення зразків кави меленої з серії фотографій мікроструктури: *а* – виконано за методом "темного поля" (джерело світла – з боку камери мікроскопа); *б* – методом "світлого поля" (світло проходило через шар продукту).

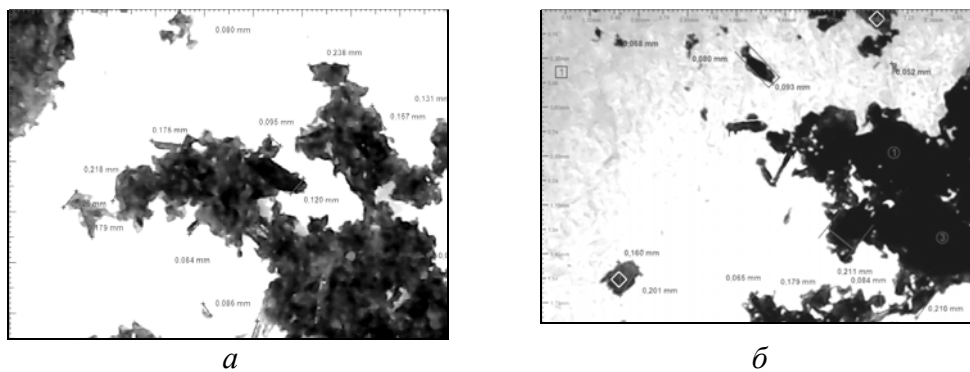


Рис. 2. Визначення дисперсності кави меленої на оптичних цифрових мікроскопах: *а* – *BW-400X*; *б* – *CL PC camera 4.5*

Візуальна різність кольору частинок на фотографіях пов'язана з вищою контрастністю об'єктів у робочій зоні мікроскопа. На них видно, що частинки мають неправильну форму з розміром у діапазоні 50–250 мкм. Саме тому для характеристики їхньої дисперсності використано середній лінійний розмір. Результати вимірювань, отримані за різних збільшень, узагальнено щодо фракцій частинок.

Визначено розміри частинок кави меленої за фотографіями мікроструктури, виконаними за методом "темного поля" (рис. 3, а, б, в) та "світлого поля" (рис. 3, г)

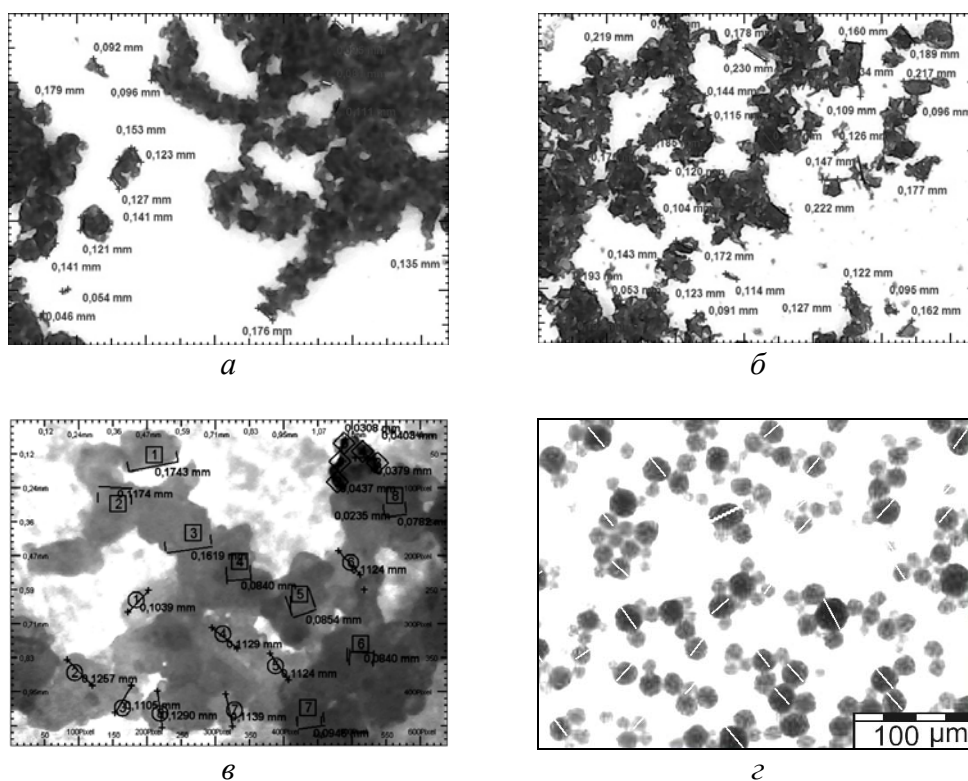


Рис. 3. Визначення розмірів частинок кави меленої в програмах:
а – *Cooling Tech 4.5* (640 × 480); б – *Cooling Tech 4.5* (2048 × 1536);
в – *Micro-Measure Tool* (1600 × 1200); г – *Image Tool* (1280 × 960)

На фотографії з більшою роздільною здатністю (див. рис. 3, б) значно вище чіткість зображення об'єктів, що дає змогу точніше встановити розмір частинок дисперсної системи, менших за 0.1 мм.

Для автоматизації розрахунку середнього лінійного розміру частинок дисперсної системи всі досліджувані зразки програмно забезпечення уможливають експортувати результати вимірювань до табличного процесора, що істотно спрощує подальший дисперсний аналіз [14]. Приклад експорту визначених розмірів частинок кави меленої з досліджуваних програм до *MS Excel* наведено на рис. 4.

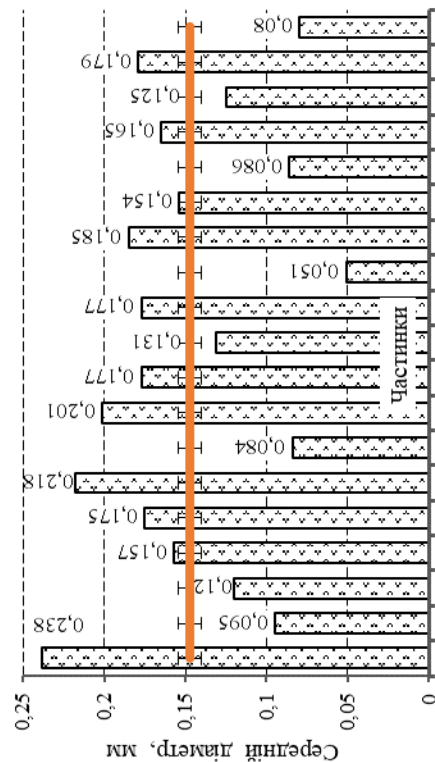
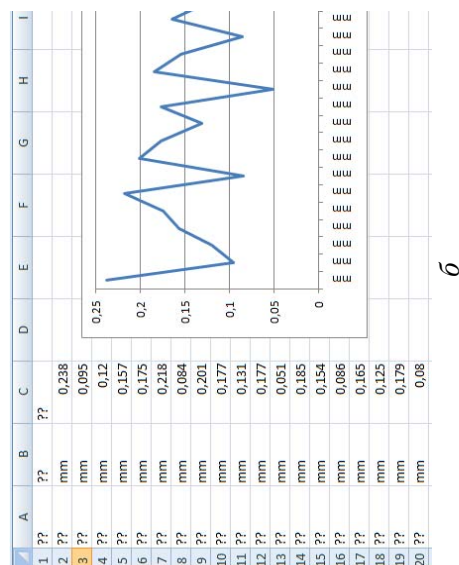


Рис. 4. Вікна програми MS Excel: а, б, в – таблиці з результатами вимірювання лінійних розмірів часточок кави меленої, що експортовані засобами Image Tool V300, Micro-Measure, Cooling Tech 4.5 відповідно; 2 – представлення результатів у формі діаграми

Програма *Cooling Tech 4.5*, через застосування спрощеної китайської мови для позначення розмірів, навіть після встановлення англійської мови інтерфейсу не дає змоги коректно експортувати параметри до *MS Excel* (див. 4, б), що певною мірою ускладнює подальшу обробку даних. Саме тому використання програми *Cooling Tech 4.5* знижує комфортність проведення дисперсного аналізу сипких продуктів для дослідників, які не володіють китайською мовою.

Програми *Micro-Measure* та *Image Tool* експортували лінійні розміри досліджуваних об'єктів до табличного процесора без помилок.

Назви інструментів під час експортування зазначаються англійською мовою. Особливо корисною функцією виявилось чергування двох інструментів вимірювання: *Distance Measurement* – для вимірювання відстані між двома точками та *Parallel* – між двома паралельними лініями. У процесі дослідження розміри одного типу частинок визначено за допомогою інструмента *Parallel* (див. рис. 4, а), іншого – *Distance Measurement* (див. рис. 4, в). Це уможливило експортувати до табличного процесора розміри двох типів об'єктів одночасно.

Оскільки два компоненти виміряні різними інструментами, то дані про їхні розміри містяться в різних таблицях, що прискорює процес і частково автоматизує дисперсний аналіз.

Результати вимірювань зберігаються у вигляді електронної таблиці, тому за допомогою вбудованих функцій можна розрахувати середній діаметр частинок, а дані аналізу кожної фотографії мікроструктури – в окремому файлі. За зміни масштабу фотографії, що аналізувалася, виконувалося нове калібрування або застосовувався один зі збережених шаблонів.

Дані для побудови кривих кількісного розподілу частинок за розмірами наведено в табл. 3 (фотографію зроблено мікроскопом *500x SDM*, роздільна здатність – 1600×1200 пікселів, аналіз проведено в програмі *Micro-Measure*).

Таблиця 3

Розміри частинок кави меленої

Розподіл частинок на групи, мкм	Параметр			
	$d_{\text{серед.}}$, мкм	n , ШТ	$S_{\text{серед.}}$, мкм ²	ΔQ , %
5–10	6.3	15	125.58	3.07
10–50	46.4	44	6753.52	69.10
50–100	81.3	54	11 213.49	182.64
100–125	118.7	134	34 883.87	460.91
125–150	147.5	56	68 372.39	267.67
150–200	189.7	24	113 023.74	147.49
200–250	231.8	18	168 837.94	135.20
250–300	274.0	2	205 668.42	17.75

Криві диференціального розподілу мікрочастинок зразка кави меленої за розмірами наведено на *рис. 5*, які виконано за допомогою програмних засобів: *а, б* – *Micro-Measure Tool* за фотографією з мікроскопа *500x SDM* методом "темного поля" та "світлого поля"; *в* – *Cooling Tech 4.5* за фотографією з мікроскопа *CL PC camera 4.5* та *г* – *Image Tool* за фотографією з мікроскопа *BW-400X*, обидва методом "темного поля".

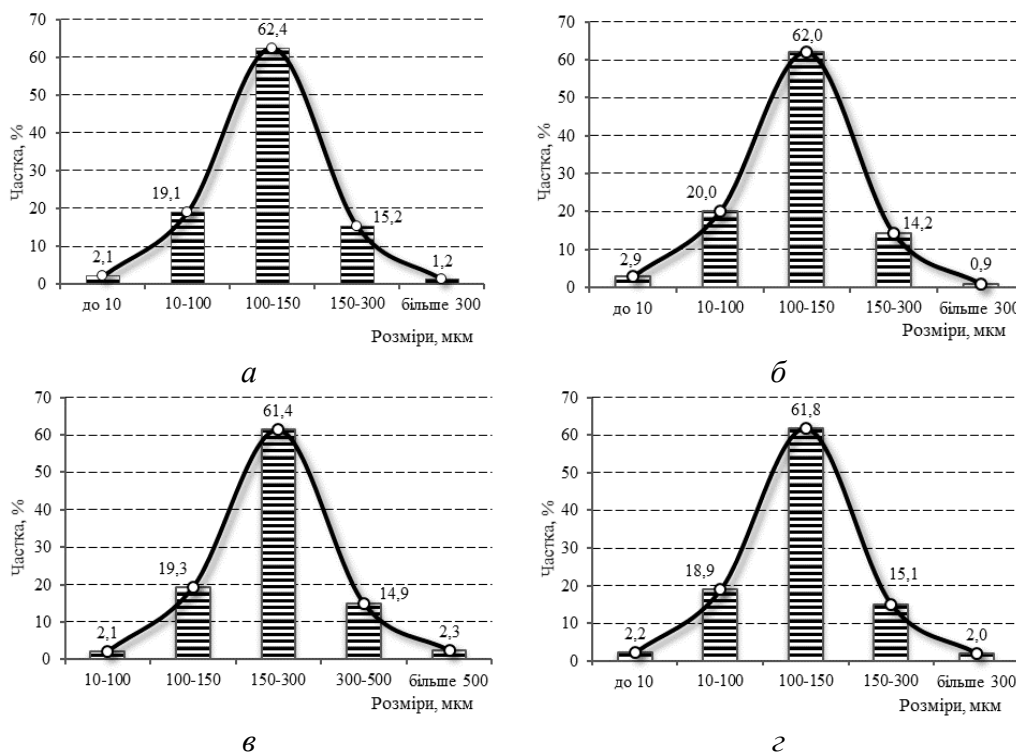


Рис. 5. Криві диференційного розподілу частинок за розмірами в зразку кави меленої

У цілому, результати дослідження показують, що розподіл частинок зразка кави меленої відтворюється з відхиленням у межах 1.5 % усіма дослідженими приладами із застосуванням штатного програмного забезпечення і найкраще описуються поліноміальним рівнянням третього ступеня.

Висновки. Встановлено, що дисперсний склад зразка кави меленої з розміром частинок 20–250 мкм, визначений за допомогою мікроскопів *500x SDM*, *CL PC camera 4.5*, *BW-400X* у середовищі програмних засобів *Cooling Tech 4.5*, *Micro-Measure Tool*, *Image Tool*, відрізнявся в межах 1.5 %, що підтверджує певність отриманих результатів.

Для аналізу дисперсного складу (форми, розмірів частинок, морфологічних властивостей), вивчення будови та структури сипких продуктів можуть із досить високим рівнем відтворюваності результатів використовуватися мікроскопи цінового діапазону 2500–5000 грн. Не всі програмні продукти, що надаються з обладнанням, можуть бути рекомендовані для дисперсного аналізу харчових продуктів, оскільки не мають мовної локалізації.

Створено алгоритм обробки даних дисперсного аналізу сипких продуктів, що уможливило отримання вірогідних результатів дослідження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Burdo O., Bandura V., Zykov A., Zozulyak I. Using of the wave technologies in intensification processes of heat and mass transf. *EUREKA: Physics and Engineering*. 2017. P. 18-24.
2. Coalescers Pall. Phase Separation Technology. NY: Pall Corporation, 2012. 16 p.
3. Saalfeld S., Fetter R., Cardona A., Tomancak P. Elastic Volume Reconstruction from Series of Ultra-thin Microscopy Sections. *Nature Methods*. 2012. 9 (7). P. 717-720.
4. Schindelin J., Arganda-Carreras I., Frise E., Kaynig V., Longair M., Pietzsch T. et al. Fiji: an open-source platform for biological-image analysis. *Nature Methods*. 2012. 9 (7) P. 676-682.
5. Schneider C. A., Rasband W. S., Eliceiri K. W. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods*. 2012. 9 (7). P. 671-675.
6. Мьщик А. В. Использование программы ImageJ для автоматической морфометрии в гистологических исследованиях. *Омский научный вестник*. 2011. № 2 (100). С. 187-189.
7. Eliceiri K. W., Berthold M. R., Goldberg I. G., Ibanez L., Manjunath B. S., Martone M. E. et al. Biological Imaging Software Tools. *Nature Methods*. 2012. 9 (7). P. 697-710.
8. Гаврилова Н. Н., Назаров В. В., Яровая О. В. Микроскопические методы определения размеров частиц дисперсных материалов: учеб. пособие. М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2012. 52 с.
9. Свідерський В. А. Дисперсність та структура карбонатних наповнювачів для водно-дисперсійних фарб. *Вісник Черкаського держ. технол. ун-ту*. 2012. № 2. С. 102-108.
10. Шаповал С. Л., Романенко Р. П., Форостяна Н. П. Діагностика фізичних властивостей харчових продуктів: монографія. Київ: Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2017. 129 с.
11. Eliceiri K. W., Berthold M. R., Goldberg I. G., Ibanez L., Manjunath B. S., Martone M. E. et al. Biological Imaging Software Tools. *Nature Methods*. 2012. 9 (7). P. 697-710.
12. Ресурс проекту з відкритим кодом ImageJ. URL: https://imagej.net/ImageJ2#Features_of_ImageJ2.
13. Федорова Д., Романенко Р. Кінетика процесу сушіння та якість рибних напівфабрикатів. *Міжнар. наук.-практ. журн. "Товари і ринки"*. 2016. № 2 (22). С. 158-177.
14. Горбань І. І. Теорія ймовірностей і математична статистика для наукових працівників та інженерів. Київ: Інститут проблем математичних машин і систем НАН України, 2003. 245 с.
15. Расулов Р. А., Романенко Р. П. Вплив конструктивного типу кавомолки на дисперсність меленої кави. Туризм XXI століття: глобальні виклики та цивілізаційні цінності: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. (Пряшів, 10–11 квіт. 2019 р.). Київ: Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2019. С. 162-165.

Стаття надійшла до редакції 28.03.2019.

Fedorova D., Romanenko R., Rasulov R. Determination of ground coffee dispersion by microscopic method.

Background. Determination of the sizes and forms of particles - elements of the dispersed phase, has a priority, since these parameters determine many of the physical and technological properties of the bulk product. The most common method of dispersion analysis of the investigated system is to determine the size, number and shape of particles by ready-made photos of the microstructure.

The aim of this article is to test equipment and software for disperse analysis of bulk materials on the example of ground coffee using optical digital microscopes.

Materials and methods. The study used digital microscopes *500xSDM, CL PC camera 4.5, BW-400X*, which are included in the price range 2500–5000 UAH. All devices are not equipped with an eyepiece or their own display, have LED direct illumination and resolution matrix from 3 to 8 Mp.

The TM *Lavazza* coffee was investigated, from which four different samples were selected from different parts of the consumer packaging. Five photos of the microstructure have been made. The dispersion analysis of the coffee samples was made using software provided by microscopic manufacturers. The sizes of the particles of the coffee ground by the photos of the microstructure were determined. The photos were made by the method of "dark field" and "light field".

Results. The matrixes used in the microscopy study let you to make photos with sizes from 640×480 to 3264×2448 pixels and a resolution of 0.3 to 8 megapixels. Since the resolution of the matrix in the combination with the multiplicity of the lens determines the degree of magnification of the digital microscope, small particles of ground coffee have been photographed at the highest resolution.

The research results had been exported to MS Excel by software to automate the calculation of the average linear particle size of the disperse system. The analysis results of each microstructure photo were stored in a separate file. When the scale of the analyzed photo was reset, a new calibration was performed or one of the saved templates was used.

Overall, the results of the study indicate that the distribution of ground coffee particles is reproduced with a deviation of 1.5 % for all investigated devices using standard software and is best described by a polynomial third-order equation.

Conclusion. It was determined that the disperse composition of the sample of ground coffee with a particle size of 20–250 μm , determined using *500xSDM, CL PC camera 4.5, BW-400X* microscopes in the software environment *Cooling Tech 4.5, Micro-Measure Tool, Image Tool* differed within 1.5 %, indicating the reliability of the results.

An algorithm for processing the results of the dispersion analysis of bulk products has been developed, which makes it possible to obtain reliable results of the study.

Keywords: optical microscope, digital USB-microscope, automation of histological analysis, dispersion analysis, ground coffee.

REFERENCES

1. Burdo, O., Bandura, V., Zykov, A., & Zozulyak, I. (2017). Using of the wave technologies in intensification processes of heat and mass transf. *EUREKA: Physics and Engineerin*, 18-24 [in English].
2. Coalescers, Pall. (2012). Phase Separation Technology. NY: Pall Corporation [in English].
3. Saalfeld, S., Fetter, R., Cardona, A., & Tomancak, P. (2012). Elastic Volume Reconstruction from Series of Ultra-thin Microscopy Sections. *Nature Methods*, 9 (7), 717-720 [in English].
4. Schindelin, J., Arganda-Carreras, I., Frise, E., Kaynig, V., Longair, M., Pietzsch, T. et al. (2012). Fiji: an open-source platform for biological-image analysis. *Nature Methods*, 9 (7), 676-682 [in English].

5. Schneider, C. A., Rasband, W. S., & Eliceiri, K. W. (2012). NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods*, 9 (7), 671-675 [in English].
6. Mycik, A. V. (2011). Ispol'zovanie programmy ImageJ dlja avtomaticheskoy morfometrii v gistologicheskikh issledovanijah [Using ImageJ software for automatic morphometry in histological studies]. *Omskij nauchnyj vestnik – Omsk Scientific Herald*, 2 (100), 187-189 [in Russian].
7. Eliceiri, K. W., Berthold, M. R., Goldberg, I. G., Ibanez, L., Manjunath, B. S., Martone, M. E. et al. (2012). Biological Imaging Software Tools. *Nature Methods*, 9 (7), 697-710 [in English].
8. Gavrilova, N. N., Nazarov, V. V., & Jarovaja, O. V. (2012). Mikroskopicheskie metody opredelenija razmerov chastic dispersnyh materialov [Microscopic methods for determining the particle size of dispersed materials]. Moscow: RHTU im. D. I. Mendeleeva [in Russian].
9. Sviders'kyj, V. A. (2012). Dyspersnist' ta struktura karbonatnyh napovnjuvachiv dlja vodno-dyspersijnyh farb [The dispersion and structure of carbonate fillers for water-dispersive paints]. *Visnyk Cherkas'kogo derzhavnogo tehnologichnogo universytetu – Bulletin of Cherkasy State Technological University*, 2, 102-108 [in Ukrainian].
10. Shapoval, S. L., Romanenko, R. P., & Forostjana, N. P. (2017). Diagnostyka fizychnykh vlastyivostej harchovyh produktiv [Diagnostics of physical properties of food products]. Kyi'v: Kyi'vs'kyj nacional'nyj torgovel'no-ekonomichnyj universytet [in Ukrainian].
11. Eliceiri, K. W., Berthold, M. R., Goldberg, I. G., Ibanez, L., Manjunath, B. S., Martone, M. E. et al. (2012). Biological Imaging Software Tools. *Nature Methods*, 9 (7), 697-710 [in English].
12. Resurs proektu z vidkrytym kodom ImageJ. Retrieved from https://imagej.net/ImageJ2#Features_of_ImageJ2 [in English].
13. Fedorova, D., & Romanenko, R. (2016). Kinetyka procesu sushinnja ta jakist' rybnyh napivfabrykativ [Kinetics of drying process and quality of fish semi-finished products]. *Mizhnarodnyj naukovo-praktychnyj zhurnal "Tovary i rynky" – International scientific and practical magazine "Commodities and Markets"*, 2 (22), 158-177 [in Ukrainian].
14. Gorban', I. I. (2003). Teorija jmovirnostej i matematychna statystyka dlja naukovykh pracivnykiv ta inzheneriv [Probability theory and mathematical statistics for researchers and engineers]. Kyi'v: Instytut problem matematychnykh mashyn i system NAN Ukraï'ny [in Ukrainian].
15. Rasulov R. A., Romanenko R. P. (2019). Vplyv konstruktyvnogo typu kavomolky na dyspersnist' melenoi' kavy. Turyzm XXI stolittja: global'ni vyklyky ta cyvilizacijni cinnosti [Influence of constructive type of coffee grinder on the dispersion of ground coffee. XXI century tourism: global challenges and civilizational values]: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. (pp. 162-165). Kyi'v: Kyi'vs'kyj nacional'nyj torgovel'no-ekonomichnyj universytet [in Ukrainian].