

Національний університет "Чернігівський колегіум" імені Т.Г. Шевченка

Природничо-математичний факультет

Кафедра хімії, технологій та фармації

Кваліфікаційна робота магістра

на тему

Інноваційний метод визначення пористості хлібо-булочних виробів

Виконав:

студент: 6 курсу, групи 68

спеціальності

181 Харчові технології та інженерія

Леоненко Ю. А.


Керівник:

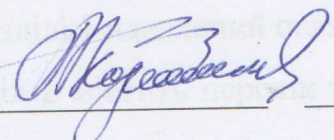
к.т.н., доцент

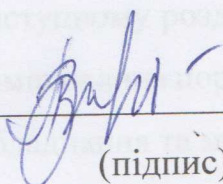
Корольов О.О.

Чернігів 2024

Роботу подано до розгляду « 13 » грудня 2024 року.


Студент  Леоненко Ю. А. _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник  Корольов О. О. _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент  Танерник В.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Кваліфікаційну роботу (проект) розглянуто на засіданні кафедри хімії,
технологій та фармації. Протокол № 8 від « 18 »
грудня 2024 року.

Студент (ка) допускається до захисту даної роботи в екзаменаційній комісії.

Завідувач кафедри  Курмакова І. М. _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Робота присвячена у порівнянні результатів по визначенню пористості хліба за методикою ДСТУ 7045:2009 та запропонованою методикою сканування зразків.

У розділі 1 наведений огляд існуючих методів вимірювання пористих тіл.

Розділ 2 містить перелік та основні характеристики обладнання, приладів для вимірювання та матеріалів, що були використані при проведенні досліджень.

В наступному розділі викладено оцінювання невизначеності вимірювань у процесі вимірювання пористості хлібо-булочних виробів. Розглянуті метрологічні аспекти обладнання та методик вимірювання для обох способів.

У розділі 4 наведені результати порівняння точності вимірювань пористості хлібо-булочних виробів для обох способів на основі математико-статистичної обробки результатів при визначенні ймовірної невизначеності (похибки).

У 5 розділі викладені підходи та дії спрямовані на визначення ступеня впливу істотних параметрів на результат вимірювання пористості хліба методом сканування за допомогою планування експерименту.

Висновки містять перелік головних результатів роботи у відповідності до визначених задач дослідження.

У додатках містяться результати участі у Міжнародному науковому та практичному форумі.

Список використаних джерел містить 25 посилань, сторінок – 69 , таблиць – 14 , рисунків – 33.

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. Огляд методів дослідження пористих структур	9
РОЗДІЛ 2. Методи дослідження, прилади та матеріали	14
2.1. Технічні характеристики сканера Canon PIXMA MP230	14
2.2. Секундомір	14
2.3. Характеристика паперу	15
2.4. Ваги лабораторні ТВЕ Техноваги	15
2.5. Хлібо-булочні вироби	15
2.6. Методи дослідження	16
2.6.1. Методика відбирання зразків за ДСТУ 7044:2009	16
2.6.2. Визначення пористості хліба за методикою ДСТУ 7045:2009	16
2.6.3. Методика визначення пористості хліба за допомогою сканування	16
РОЗДІЛ 3. Оцінювання невизначеності вимірювань	17
3.1. Похибки вимірювань	17
3.2. Калібр пробника Журавльова	20
3.3. Метрологічні характеристики ваг: похибка, дискретність та класи точності	22
3.4. Аналіз визначення пористості хлібобулочних виробів по ДСТУ 7045:2009	27
3.5. Характеристики методу сканування зразків	30
3.5.1. Дослідження впливу часу сканування від рівня розподільчої здатності пристрою PIXMA MP230	30
3.5.2. Дослідження впливу розподільчої здатності на густину пікселів зображення	31
3.5.3. Визначення пористості м'якушки хлібо-булочного виробу	34
3.6. Оцінка методики визначення пористості та рекомендації	38

РОЗДІЛ 4. Оцінка похибки вимірювання та порівняння методів	40
4.1. Пористість хліба по ГОСТ ДСТУ 7045:2009	40
4.2. Пористість хліба методом сканування	46
4.3. Порівняння метрологічних характеристик двох методів	48
РОЗДІЛ 5. Планування експерименту	52
5.1 Описання моделі	52
5.2. Планування експерименту	53
5.3 Висновки по розділу	61
ВИСНОВКИ	62
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	63
ДОДАТОК А	66
ДОДАТОК Б	69

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

CIE	Стандарт білизни паперу
DPI	Dots per inch — кількість точок на дюйм.
JPEG	Joint Photographic Experts Group, формат файлу
OCR	Оптичне розпізнавання тексту
PDF	Portable Document Format, формат файлу
PNG	Portable Network Graphics, формат файлу
TIFF	Tag Image File Format, формат файлу
TWAIN	<u>стандарт</u> для сканування зображень в операційних системах <u>Microsoft Windows</u> та <u>Apple MacOS</u> .
WIA	Windows Image Acquisition, платформа для отримання образів у сімействі операційних систем Windows, починаючи з Windows Millennium Edition (Windows Me) та Windows XP.

ВСТУП

У процесі розвитку людини, як біологічного виду, поступово накопичувалися і джерела харчування. Наприклад, відомо що людина вирощує зернові культури для харчування 10000 років. Пізніше із зерна дуже грубого помелу і води на гарячих каміннях пекли хлібні коржі. За археологічними знахідками, хліб відомий понад 5000 років (найдавнішій знахідці хлібних крихт з дикої пшениці— 14000 років). Він був важливим продуктом харчування ранніх цивілізацій, зокрема в Єгипті, де вже в той час хліб у великих кількостях виготовлявся у пекарнях.

В Україні перший хліб знайшли в будовах Трипільської культури, яка існувала 3 тисячоліття тому. Також були знайдені останки глинобитних будинків, в яких було декілька приміщень різного призначення [1].

Поступово утворилася та остаточно сформувалась технологія виготовлення хлібобулочних виробів, яка складається з наступних операцій: підготовка сировини до виробництва — перемішування, просіювання борошна, розчинення масла, дріжджів, розчинення солі у воді, підготовка заквасок, замішування опари; замішування тіста, його бродіння; формування хлібобулочних виробів — поділювання, округлювання, закатування тіста; вистоювання (ферментація), щоб тісто остаточно збільшилося в об'ємі (стало пухкішим); випікання; охолодження; нарізання, пакування, підготовка до транспортування [2].

Паралельно з розвитком технологій сформувались і певні вимоги до якості хліба, як основного показника задоволення потреб людини. Якість хлібобулочних виробів в Україні нормується державними стандартами.

Одним з показників, який істотно впливає біологічну цінність споживання та органолептичну оцінку, є пористість хліба. Під пористістю хліба розуміють відношення об'єму пор м'якушки до загального об'єму м'якушки і виражають у відсотках. Добре розпушений хліб з рівномірною, дрібною, тонкостінною пористістю легше розжовується, просочується травними соками й тому повніше

засвоюється. Пористість нормується стандартами – вона встановлена для кожного виду хлібобулочних виробів. Пористість житнього хліба має бути не менше 45 - 48 %, а пшеничного 63 - 72 %. Визначення пористості хліба має вже багатовікову історію, основні методологічні засади сформулювались на початку 20 століття. Процес інструментального оцінювання в Україні унормований вимогами ДСТУ 7045:2009 [3].

Цей стандарт ніяким чином не термінологічно, ні оціночне не унормовує такі терміни, як “дрібнопористий”, “рівномірна пористість” та ін. За час дії попереднього ГОСТ 5669-96 та ДСТУ 7045:2009, що був введений на заміну, у різних галузях господарства знайшли широке застосування способи оцінки пористості тіл, які засновані на сучасних фізичних методах.

Актуальність проблеми полягає у декількох аспектах. По-перше, існуюча методика за ДСТУ 7045:2009 поширюється на обмежену кількість видів хлібобулочних виробів, конкретно це обмеження за вагою виробів у 200 г. По-друге, рекомендовані дії при розрахунку пористості містять низку даних, вибір яких залежить від кваліфікації робітника. Останнє, положення про використання декількох штучних виробів для утворення вибірки привносить додаткові похибки і не вирішує проблему тонких виробів.

Мета дослідження – визначити основні положення методики визначення пористості м'якушки хліба за допомогою сканування зразків; провести метрологічну та порівняльну оцінку запропонованого методу і метода за ДСТУ 7045:2009; визначити зовнішні та внутрішні фактори, які впливають на результат визначення пористості за методом сканування.

Завдання, сформульовані відповідно до визначеної мети наступні:

- визначити основні положення методики визначення пористості, заснованому на аналізі електронно-оптичного образу поверхні зразка хліба;
- провести метрологічну оцінку існуючого методу визначення пористості хліба по ДСТУ 7045:2009;
- провести метрологічну оцінку запропонованого методу;

- зробити порівняння двох методів, за показником ймовірної невизначеності (похибки) результату визначення пористості;
- визначити фактори (їх взаємодію), що впливають на визначення пористості у методі сканування зразків;
- окреслити перспективні напрями використання методу сканування зразків.

Об'єкт дослідження - пористість хлібо-булочних виробів.

Предмет дослідження – метрологічна оцінка методу сканування зразків хліба, метрологічна оцінка існуючого методу визначення пористості хліба по ДСТУ 7045:2009.

Методи дослідження. В процесі визначення пористості хліба застосовували методики за ДСТУ 7045:2009 та способом сканування зразків хліба. При проведенні робіт використовували гравіметричні методи вимірювання маси зразків; прямі інструментальні методи визначення лінійних розмірів, часу при проведенні вимірів; електронно-оптичні при планшетному скануванні дослідних зразків. Зону оцінювання виокремлювали і апаратними методами пакета програми PAINT.NET визначали пористість зразків. Масив емпіричних даних був оброблений математико-статистичними методами пакету програм Описова статистика з надбудови Пакету Аналізу MS EXCEL.

РОЗДІЛ 1

Огляд методів дослідження пористих структур

Матеріали з пористою структурою мають специфічні фізичні властивості. Для пористих матеріалів характерні значна дифузійна проникність, малий гідродинамічний опір, здатність, що фільтрує, високі адсорбційні властивості, малі звукопровідність і теплопровідність, здатність інтеграції з біологічними тканинами [4].

Систематизація пористих структур за елементним, хімічним складом і будовою твердих структурних частинок, за походженням пористості не завершилися створенням єдиної класифікації, але виявила як основу класифікації відмінності в механізмі утворення та структурі пористих середовищ [5]. Істотними для моделювання ознаками класифікації пористої структури матеріалів є походження та розмірно-геометричні ознаки.

Методи капілярної дефектоскопії ґрунтуються на явищах капілярності, сорбції та дифузії, що дозволяють виявляти відкриті пори розміром більше ніж 0,1 мкм за допомогою їх заповнення індикаторною рідиною (пенетрантом), що добре змочує, і створення на поверхні тіла індикаторних малюнків з високим оптичним (за яскравістю та кольором) контрастом ліній, ширина яких набагато перевищує ширину розкриття несплошностей. Капілярна дефектоскопія у поєднанні з візуально-оптичними методами та мікроскопією застосовується у виробничих умовах для виявлення несплошностей, глибина розташування яких більш ніж у 5 – 10 разів перевищує їх мінімальний розмір.

Ртутна порометрія, заснована на капілярних явищах, використовується для вивчення розподілу пір за розмірами вдавлення ртуті в пори. Рідка ртуть не змочує більшість матеріалів та практично не взаємодіє з ними. Кожному тиску відповідає певний об'єм ртуті, що вдавлений у пори певного радіусу.

Підвищуючи тиск, і одночасно вимірюючи об'єм ртуті, вдавленої в пори, можна побудувати інтегральну криву розподілу питомого об'єму пір за їх діаметрами, визначити пористість та питому поверхню [6].

Сорбційні методи ґрунтуються на явищі конденсації газів (адсорбатів) на відкритих (доступних для молекул газу) поверхнях адсорбентів. Ці методи, як і метод ртутної порометрії, придатні для дослідження матеріалів з розвиненою пористою структурою, доповнюють метод ртутної порометрії в області мікропор, найважчої для порометричного аналізу. Вони дозволяють надійно визначати питому поверхню пористої структури [7].

Об'ємно-вагові методи дослідження пористої структури застосовуються для визначення пористості твердого тіла за розходженням теоретичної (еталонної) та дійсної густини зразка. Густина, як межа відношення маси тіла до його об'єму при точковій локалізації всього об'єму, характеризує або густину абсолютно однорідного компактного тіла в цілому, або локальну густину неоднорідного тіла в цій точці. Неоднорідні тіла характеризуються середньою або ефективною, тією що удається, істинною (теоретичною) та відносною густиною.

Густина, що здається, визначається як відношення маси матеріали до всього займаного ним об'єму. Поняття істинної густини відноситься до матриці (каркасу) без урахування пір. Тоді сумарний обсяг пір визначається різницею зворотних величин істинної густини та густини, що здається.

Відносна густина визначається або віднесенням об'єму, займаного власне речовиною в даному зразку, до повного об'єму зразка, або віднесенням густини (маси) речовини, що розглядається, до густини (масі рівновеликого об'єму) іншої умовної речовини (еталона) за певних фізичних умов.

Істинна густина може бути розрахована, наприклад, виходячи з будови кристалічних тіл, а фактична густина виміряна. Порівнюючи значення теоретичної ρ_T і фактичної ρ густини твердого тіла, можна визначити його пористість, нехтуючи малим вкладом інших дефектів:

$$\Pi = \frac{\rho_T - \rho}{\rho_T}, \quad (1.1)$$

де ρ_T – теоретична густина твердого тіла;

ρ – фактична густина твердого тіла.

Матеріали з пористою структурою класифікуються за походженням, розмірно-геометричними ознаками, розташуванням пір на корпускулярні та губчасті, регулярні та стохастичні, з відкритими та закритими макропорами, мікропорами та нанопорами системи. Наприклад, пориста структура матеріалів, одержуваних порошковою металургією, відноситься до корпускулярних стохастичних мікропористих систем. Пориста структура, сформована лазерною обробкою мікроотворів або лазерним мікроструктуруванням, відноситься відповідно до губчастим регулярним або губчастим стохастичним, з відкритими тупиковими макропорами систем.

Комплекс параметрів і методів вивчення пористих матеріалів узгоджується з математичним описом класифікаційних угруповань пористої структури. Складні для математичного опису губчаста та корпускулярна структури відображаються геометричними та статистичними моделями. Спрощене відображення моделлю ґрунтується на допущенні простих форм структурних частинок та пір. Найчастіше застосовуються глобулярні та капілярні моделі, параметри яких можуть бути випадковими величинами. Разом з тим, припущення, прийняті під час моделювання, призводять до методичних помилок обчислення параметрів.

Пориста структура характеризується комплексом властивостей достатніх її дослідження. Форма, обсяг і протяжність окремої пори зазвичай важко визначати.

Разом про те можна назвати характерні розміри пори щодо простої форми, якими визначаються властивості пористої структури. Складна форма пір наводиться до простих геометричних фігур, і визначаються еквівалентними розмірами, виходячи з прийнятої моделі пористої структури. Основними параметрами пористої структури при її статистичному описі приймаються функція та густина розподілу пір за розмірами та обсягу пір по радіусах.

Методика дослідження пористої структури має ґрунтуватися на комплексному методичному підході, що передбачає поєднання методів порометрії, узгоджене з класифікаційним угрупованням та характеристиками пористої структури. Вивчення відкритої макропористості можливе методами світлової мікроскопії, капілярними, термoporометрії, рідинної та газової

волюмометрії, заповнення пор рідиною, гідростатичної взаємодії рідин, еталонної порометрії. Практично доцільно поєднувати методи світлової мікроскопії, комп'ютерного аналізу зображень та порометрії [8].

Застосування комп'ютерної обробки зображень дозволяє подолати трудомісткість вимірювань розмірів, площ та здійснювати статистичну обробку результатів спостережень. Кількісні характеристики просторової пористої структури неможливо визначити безпосередньо за плоским зображенням, отриманим методами мікроскопії. Плоске зображення містить первинну і часом спотворену інформацію про об'ємну структуру. Відтворення чи реконструкція просторової структури за допомогою вимірів на площині зображення здійснюється методами стереології.

Типовою методикою комп'ютерного аналізу зображення, зазвичай, передбачаються перетворення та редагування зображення методами фільтрації, виділення об'єктів чи фаз на зображенні за яскравістю, кольором, текстурними ознаками, вимірювання параметрів у напівавтоматичному або автоматичному режимі, статистична обробка результатів та класифікація об'єктів, збереження результатів аналізу. Сучасні аналізатори дозволяють проводити автоматичні вимірювання площі, розмірів, параметрів форми, положення та орієнтації, оптичних параметрів об'єктів на зображенні, у тому числі на мікроструктурах.

Сучасний аналізатор зображень мікроструктур дозволяє, наприклад, перетворювати вид структурних морфологічних елементів поверхні на монохроматичне зображення, на якому чорні поля відповідають різним поглибленням і порам, білі поля – виступам та окремим частинкам, автоматично будувати графіки розподілу розмірів частинок та пор, зміни частоти розмірів, обчислювати статистичні характеристики розподілу елементів профілю. Разом з тим, можливості пристосувати аналізатор для конкретних об'єктів і завдань дослідження пористої структури обмежені недоступністю коригування програмного забезпечення.

Унікальні можливості розробки функціонального програмного забезпечення аналізу макропористої структури надає програма ІРТ системи

MATLAB. Реалізовано найбільш відомі алгоритми обробки зображень, що існує можливість перегляду програмних кодів функцій, що реалізує дані алгоритми. Передбачено можливість розвитку програмного забезпечення оригінальними авторськими функціями виділення, обробки та розпізнавання зображень, відтворення чи реконструкції просторової структури методами стереології недоступними для сучасних аналізаторів зображень.

РОЗДІЛ 2

Методи дослідження, прилади та матеріали

2.1. Технічні характеристики сканера Canon PIXMA MP230

Тип сканера – Планшетний кольоровий сканер із контактним сенсором зображення.

Оптична роздільна здатність сканера – до 600 x 1200 точок/дюйм.

Швидкість сканування аркуша формату А4 – при бл. 14 секунд.

Глибина кольору під час сканування – планшетне сканування: вхідний канал 48 біт / вихідний канал 24 біти (16/8 біт на кожний канал RGB).

Напівтони/відтінки сірого – планшетне сканування: вхідний канал 16 біт / вихідний канал 8 біт.

Сумісність – TWAIN/WIA.

Ширина ефективної області сканування – А4/LTR (216 x 297 мм).

Оптичне розпізнавання тексту (OCR) – програма My Image Garden.

Способи сканування та розширені можливості – сканування документів (PDF, Compact PDF, JPEG, TIFF, PNG), сканування фотографій (JPEG, TIFF, PNG), режим автоматичного сканування, створення файлів PDF із додатковим захистом паролем, розпізнавання тексту (оптичне), сканування та скріплення, сканування до хмарних служб, сканування для електронної пошти.

2.2. Секундомір. Секундомір СОС пр. “Агат” ГОСТ 5072-79 “Секундомери механические. Технические условия” призначений для вимірювання часу в хвилинах, секундах і долях секунди, застосовується при проведенні спортивних змагань, а також в наукових. Механізм секундоміра калібру 42 мм на 16-ти рубіновому камінні має пружинний двигун, анкерний хід і коливальну систему “баланс – спіраль” з періодом коливання 0,4 с. Тривалість роботи від одного повного заводу не менше 18 годин.

Технічні характеристики

Ціна поділки шкали: секундної – 0,2 с; лічильник хвилин – 1,0 хв.

Допустима похибка секундоміра за нормальних умов: при положенні секундоміра циферблатом вгору або заводною голівкою вгору за 10 хв. Інтервалу роботи $\pm 0,6$ с, за 60 хв. $\pm 1,8$ с.

2.3. Характеристика паперу. Папір білий формату А4 класу В, поверхнева густина 80 г/м^2 , яскравість (ISO) – 97 -98 %, білизна (СІЕ) – 135-145 %, непрозорість – 89-90 %.

2.4. Ваги лабораторні ТВЕ Техноваги, ціна поділу – 0,1 г, 2 клас точності за ДСТУ 7270:2012 “ПРИЛАДИ ЗВАЖУВАЛЬНІ ЕТАЛОННІ. Загальні технічні вимоги, порядок та методи атестації”.

2.5. Хлібо-булочні вироби:

– булочка ”З кунжутом“. ДСТУ 4585:2006. Склад: борошно пшеничне вищого сорту, цукор, маргарин, сухе молоко, суха молочна сироватка, дріжджі, сіль, вода, кунжут. Вагогабаритні характеристики: висота – 17,3 см; глибина – 7,1 см; ширина – 11,2 см; вага брутто – 0,102 кг. Поживні характеристики: жири – 14 г/100г; білки – 7 г/100г; вуглеводи – 43 г/100г; калорійність – 1368 кДж/100г (326 ккал/100г).

– хліб пшеничний «Сімейний» ДСТУ 7517 виробництва заводу Київхліб.

Зовнішній вид та склад цього виробу наведений на рисунку 2.1.



а



б

Рис. 2.1. Зовнішній вид та склад хліба пшеничного «Сімейний»:

а – зовнішній вид, б – склад хліба.

– зразок «Хліба пшеничного нарізаного» ДСТУ 7517:2014 виробництва «Наша Булочка» обирали в якості об'єкту дослідження при плануванні експерименту.

Іншою задачею дослідження були метрологічні характеристики методу визначення пористості хліба по ДСТУ 7045:2009 з використанням пробника Журавльова у складі металевого циліндра, дерев'яної втулки та дерев'яного лотка (рис. 2.2).



Рис. 2.2. Пробник Журавльова

2.6. Методи дослідження

2.6.1. Методика відбирання зразків за ДСТУ 7044:2009 “ВИРОБИ ХЛІБОБУЛОЧНІ. Правила приймання, методи відбирання проб, методи визначення органолептичних показників і маси виробів”.

2.6.2. Визначення пористості хліба за методикою ДСТУ 7045:2009.

2.6.3. Методика визначення пористості хліба за допомогою сканування зразків викладена у п. 3.5, 3.6 цієї роботи.

РОЗДІЛ 3

Оцінювання невизначеності вимірювань

3.1. Похибки вимірювань

Прискорений темп розвитку метрології зумовив новий світогляд щодо засобів вимірювання та процесу контролю фізичних параметрів продукції. Випробувальні лабораторії, оснащені засобами вимірювальної техніки, стурбовані питанням запобігання отриманню недостовірних результатів при постачанні продукції, пов'язаної з вимірюванням. Тобто обладнання, яке застосовується при вимірюванні, повинно забезпечувати точність вимірювання (невизначеність вимірювання) [9].

Важливим моментом є те, що при постачанні продукції та наданні послуг необхідно надавати звіти про результати вимірювання зі встановленням їх невизначеності. Тому випробувальна лабораторія повинна мати програму (методику) вимірювання, яка, за необхідності, має переглядатися та коригуватися для підтримання довіри (впевненості) щодо забезпечення невизначеності вимірювань [10]. Оскільки перехід від похибок до невизначеності полягає не тільки в заміні відповідних термінів, а й потребує системних заходів у метрологічному забезпеченні, достовірність складання звітних даних є основним важливим фактором виконання вимірювальних робіт.

Отже, питання, які пов'язані з визначенням видів і методів оцінювання результатів вимірювання засобами вимірювальної техніки, відносяться до важливих науково-технічних задач, які є актуальними при гармонізації вітчизняних нормативних документів у галузі метрології та метрологічного забезпечення.

Згідно існуючого ДСТУ ISO/IES 17025:2019 [10], випробувальні лабораторії повинні періодично проходити процедури оцінювання невизначеності вимірювання, тобто оцінювати, наскільки точні результати отриманих вимірювань. Існуючі алгоритми такого оцінювання є складним і трудомістким процесом, тому що складники вхідних величин групують у відповідності зі

способом їх оцінювання, а при обчисленні невизначеності застосовується теорія статистичної математики.

Лабораторія повинна проводити верифікацію (чи відповідає обладнання визначеним вимогам), а для цього необхідні періодичні перевірки для підтримання довіри (впевненості) до працездатності обладнання відповідно до процедури [10]. Якщо врахувати, що в штаті випробувальних лабораторій найчастіше відсутні спеціалісти з метрології, доводиться використовувати фахівців з інших підрозділів або і з інших організацій, що створює певні незручності. Тому для випробувальних лабораторій необхідно розробляти свої кваліфікаційні процедури оцінки невизначеності вимірювань.

Методика виконання вимірювань – це сукупність операцій і правил, які необхідно виконувати для забезпечення одержання результатів вимірювань з відомою похибкою. Згідно з вимогами ДСТУ ISO/IES 17025:2019, лабораторія, що отримує продукцію та надає послуги, пов'язані з вимірюванням, повинна оцінювати невизначеність вимірювання [10]. Алгоритм такого оцінювання відомий і регламентований в існуючих документах [11], але ця задача не є простою, оскільки потребує певних знань і досвіду в області метрології.

Обов'язковими компонентами будь-якого вимірювання є метод (спосіб) вимірювання та засіб вимірювання, а якість вимірювання характеризується похибкою – відхиленням результату вимірювань від дійсного значення вимірюваної величини.

Тобто похибка характеризує точність вимірювань і відображає близькість отриманих результатів до дійсного значення вимірюваної величини. Якщо говорити про оцінювання похибки в метрологічній практиці, то мається на увазі оцінювання її характеристик по схемі, яка має наступний вигляд:

Похибка → Характеристика похибки → Алгоритм оцінювання → Оцінка характеристики похибки.

У «Керівництві з оцінки невизначеності» (GUM) [12] вводять поняття «невизначеності вимірювань», яке розуміють як неповне визначення значення

вимірюваної величини і для кількісного виразу цієї неповноти вводять розподіл вірогідності можливих значень вимірюваної величини.

Таким чином параметр цього розподілу (невизначеність) кількісно характеризує точність результатів вимірювань [12].

При оцінюванні характеристики похибок та обчисленні невизначеності вимірювань має місце аналіз рівняння вимірювань та виявлення усіх джерел похибок (невизначеності) вимірювань.

У групу систематичних похибок можна віднести такі:

- 1) інструментальна похибка вимірювання;
- 2) похибка, зумовлена неправильним встановленням та експлуатуванням;
- 3) похибки, що виникають внаслідок дії зовнішніх факторів;
- 4) методична похибка вимірювання;
- 5) суб'єктивна (особиста) похибка вимірювання;
- 6) обчислювальна похибка.

Проте універсальних методів виявлення систематичних похибок не існує.

Випадкова похибка вимірювання – це складник похибки вимірювання, що змінюється випадково при повторних вимірюваннях однієї і тієї ж величини (без будь-якої закономірності).

Для оцінювання невизначеності вимірювань маємо [13]:

1) кожне вимірювання передбачає отримання n результатів спостережень (згідно з методикою, здебільшого $n=3$);

2) інформацію про стандартний зразок, який є невід'ємною частиною приладу (калібрувальний блок – полий циліндр, який забезпечує формоутворення та розміри вимірювальних зразків м'якушки хліба, наведений на рисунку 3.1.

3) маємо інформацію щодо вимірювальної процедури: час вимірювання, обладнання, кліматичні умови проведення вимірювання, оператора.



Рис. 3.1. Металевий циліндр внутрішнім діаметром 30 мм, з загостреним кінцем з однієї сторони

Використання стандартного каліброваного зразка дозволяє вилучити більшість систематичних похибок за умови дотримання певного рівня технічних характеристик. Перелік таких стандартних вимог до засобів вимірювання та забезпечення лінійних розмірів зразків наведений у наступному розділі.

3.2. Калібр пробника Журавльова

Застосування калібру у пробнику Журавльова має певні особливості. Використовуючи металевий циліндр отримують вибірки довжиною $(7\div 8)$ см, а для забезпечення об'єму вибірки у $(27\pm 0,5)$ см³ довжина вибірки повинна становити 3,8 см. Ця вимога забезпечується іншою частиною пробника – дерев'яним або металевим лотком з поперечною стінкою, в якому на відстані 3,8 см від стінки є проріз глибиною 1,5 см. Зовнішній вигляд лотка наведений на рисунку 3.2.



Рис. 3.2. Лоток циліндр пробника Журавльова

Як видно з рисунку (3.2) ширина цієї прорізи має розмір (у даному пристрої вона становить 3 мм), що призводить появи вибірок з різною довжиною та з відхиленням від циліндричної форми. Приклад таких вибірок наведений на рисунку 3.3.



Рис. 3.3. Вибірка у складі трьох зразків м'якушки хліба батона Сімейного

Конструктивне у цій системі змінити нічого не можна, тому заходи зменшення впливу на кінцевий результат мають методичний характер і покладаються на високу кваліфікацію оператора (робітника).

Існують конструкції пробника Журавльова (рис. 3.4) у яких в процес формоутворення вибірки додали ще два калібри – дволезовий ніж та втулка довжиною 3.8 см.



Рис. 3.4. Прилад Журавльова УОП-01

Відрізання вибірки одночасно з двох боків, використовуючи торці мірного циліндра у якості направляючих, підвищує одночасно точність і стабільність кінцевого результату.

Всі перелічені конструктивні заходи з використанням різного виду калібрів не усувають вплив істотного фактору – пружності м'якушки будь-якого виду хліба. У свою чергу, пружність тіла м'якушки залежить від безлічі факторів, серед яких основними є: час проведення дослідів, вологість, однорідність по об'єму, наявність локальних дефектів тощо. Таким чином, в результаті маємо складну систему з похибками, які мають несистемний характер і, в основному, залежать від кваліфікації суб'єкта. Метрологічна оцінка метода та розрахунки похибок основних та відносних наведена у наступному розділі.

3.3. Метрологічні характеристики ваг: похибка, дискретність та класи точності

У практиці вимірювання маси застосовується різноманітні прилади та пристрої, що відрізняються призначенням, областю застосуванням, принципом роботи. Зараз на ринку вагового обладнання кількість конструктивних модифікацій ваг обчислюється тисячами. У 21 столітті використовуються переважно електронні ваги, але також на практиці ще зрідка застосовуються механічні, а саме важільні і навіть пружинні ваги.

Електронні ваги поділяються за принципом зважування на:

ваги для статичного зважування – ваги платформні, ваги автомобільні, вагонні ваги, товарні ваги та лабораторні аналітичні та прецизійні;

ваги для зважування в русі – ваги автомобільні підкладні, ваги статико-динамічні, ваги вагонні динамічні;

ваги автоматичні безперервної дії для сумарного обліку – конвеєрні ваги та чеквеєри;

ваги дискретної дії для сумарного обліку автоматичні – ваги бункерні, автоматичні ваги-дозатори та інші.

Результат виміру – знайдене значення фізичної величини дослідним шляхом із використанням спеціальних технічних засобів, позначається x . Істинне значення

фізичної величини – значення фізичної величини, яке ідеальним чином у кількісному та якісному відношенні відображало властивість об'єкта.

Фізична величина – властивість, якісно характерна багатьом об'єктів, явищ чи процесів, але у кількісному відношенні індивідуальне кожному за них. Залежно від обраної класифікаційної характеристики існують різні класифікації похибок виміру, серед яких можна виділити найпоширеніші:

формою висловлювання;

за джерелами виникнення;

за закономірностями виникнення та прояви.

За формою висловлювання похибки поділяються на абсолютні та відносні. Абсолютна похибка терезів – різниця між результатом вимірювання маси вантажу на терезах і справжнім значенням маси даного вантажу. Відносна похибка терезів – це відношення абсолютної похибки терезів до умовно істинного значення вимірюваної величини, тобто до умовно істинного значення маси вантажу, що зважується на терезах.

Основна похибка (абсолютна, відносна) терезів – це похибка терезів, визначена за нормальних умов. Нормальні умови – сукупність нормованих робочих умов, які встановлюються задля забезпечення достовірності взаємного порівняння результатів вимірів. Нормовані робочі умови – умови експлуатації, що встановлюють діапазон значень впливових величин, у яких метрологічні характеристики ваг перебувають у межах нормованих максимально допустимих похибок. Нормовані робочі умови мають такі показники:

– діапазон температур від мінус 10 °С до плюс 40 °С;

– відносна вологість – 98 % за температури 25 °С.

Додаткова похибка – похибка терезів, яка додатково виникає при експлуатації ваг в умовах відхилення хоча б однієї з величин, що відрізняється від нормованого значення.

За джерелами виникнення похибки виміру бувають інструментальні, методичні та особисті (похибки оператора).

Інструментальна похибка терезів – складова похибки вимірювання, обумовлена властивостями засобу вимірювальної техніки, в даному випадку терезів. Методична похибка – складова похибки виміру, обумовлена недосконалістю методу виміру чи невідповідністю об'єкта виміру його моделі, прийнятої для виміру. Похибка оператора – складова похибки вимірювання, обумовлена індивідуальними властивостями оператора/дослідника.

За закономірностями виникнення та прояви розрізняють систематичні, випадкові та надмірні похибки.

Систематична похибка терезів – складова загальної похибки виміру, залишається постійної чи закономірно змінюється при повторних вимірах однієї й тієї величини. Випадкова похибка терезів – складова загальної похибки виміру, змінюється випадковим чином (як у знак, і за величиною) при повторних вимірах однієї й тієї величини [14]

При використанні високоточних ваг, таких, як ваги аналітичні або лабораторні, під час розрахунку результуючої похибки до уваги потрібно брати якомога більше можливих складових.

Статична плавучість, або дрейф номінальної статичної характеристики, обумовлення дрейфом ряду параметрів механічних та мікроелектронних складових елементів ваг. В залежності від якості виконання цих елементів приведені значення цієї похибки може доходити до одиниць відсотка. Однак під час калібрування цю складову похибки можна виключити майже повністю, невиключена складова цієї похибки буде досить малою, тобто нею можна знехтувати. Похибка, що має місце між калібруваннями може бути охарактеризована як основна методична, може мати адитивні та мультиплікативні складові.

Встановлення ваг у неповній відповідності до їх робочого положення. Наприклад встановлення ваг на поверхню, що не є горизонтальною, за умови, що ваги мають стояти строго горизонтально. При несильному відхиленні від робочого положення ця похибка досить мала, до того ж високоточні ваги часто оснащують візиром, за допомогою якого ваги виставляють горизонтально.

Під час тривалої експлуатації за рахунок механічного зносу рухомих частин ваг та за рахунок накопичення втоми у пружних елементах може з'явитися похибка, викликана гістерезисом та яка проявляється у відмінності показів при вимірюванні однієї і тієї ж маси. Цю складову похибки виключити не можна, при її виявленні під час калібрування клас точності ваг має бути знижений. Може мати як адитивну, так і мультиплікативну складові.

За певних обставин суттєвими можуть бути похибки, викликані впливом зовнішніх факторів. Серед таких можна відмітити конденсація або випаровування вологи з поверхні предметів, що зважуються, за різких змін їх температур; осідання пилу на платформах зважування ваг; геомагнітні аномалії, що змінюють дійсне значення сталої прискорення сили тяжіння; конвекційні потоки повітря в лабораторії, де здійснюють зважування; механічні коливання та вібрації, що діють на ваги у процесі зважування. Перелічені в цьому абзаці чинники будуть найбільш значущими під час зважування об'єктів із малою масою та будуть переважно призводити до появи похибок адитивного характеру [15].

Ваги для лабораторій і виробництва 4 класу точності можна знайти у багатьох спеціалізованих магазинах та через мережу INTERNET (рисунок 3.5).

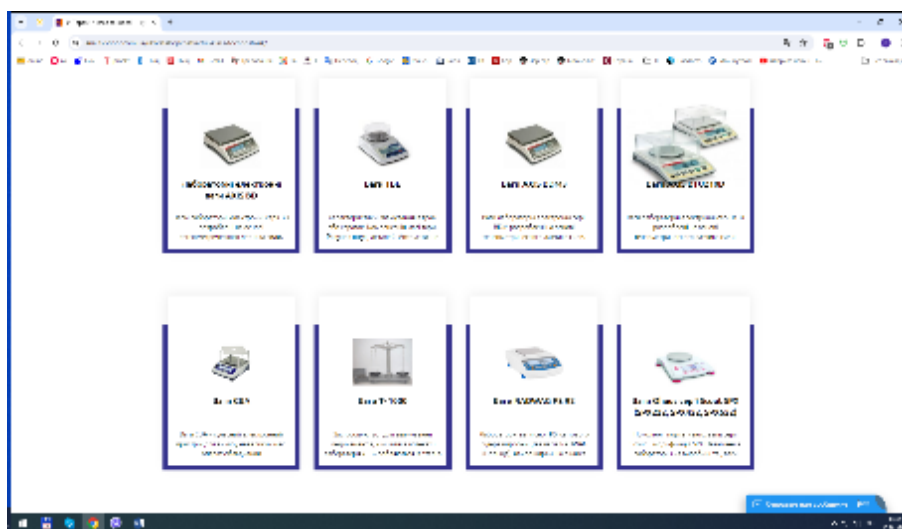


Рис. 3.5. Скриншот сторінки каталогу товарів – ваги 4 класу точності [16]

Причина цього в тому, що, згідно з новішою класифікацією, всі електронні прилади для зважування поділяють на три групи – спеціальні, ваги високого класу точності та середні.

Остання категорія об'єднує моделі старих 3 і 4 класів, оскільки вони досить близькі за своїми характеристиками. 4 клас точності ваг передбачає, що обладнання використовується в лабораторіях і в побуті. Такі ваги мають хороші експлуатаційні параметри та підходять для зважування малих мас практично в будь-якій сфері. Найчастіше це косметологія, фармацевтика, ювелірна справа, харчова промисловість.

Прикладом таких ваг може бути пропозиція від [16] фотографія яких наведена на рисунку 3.6.



Рис. 3.6. Ваги лабораторні 4 клас точності ТВЕ-0,5-0,01; ціна 7470 грн.[16]

Аналітичне обладнання для зважування 1 і 2 розрядів забезпечує високу точність вимірювань. Але воно примхливе в експлуатації та може коштувати досить дорого. Якщо сфера діяльності лабораторії не пов'язана з медициною та іншими галузями, де достовірність отриманих даних важлива до мілісотих одиниць вимірювання, можна не шукати, де купити аптечні ваги, всі потреби можуть забезпечити ваги 4 (звичайного) класу точності. Саме позначення розряду точності як “звичайного” вказує на те, що такі прилади найкраще використовувати в побуті.

Ваги 4 класу точності з найбільшою межею зважування до 1000 г у більшості марок мають дискретність (ціна повірочної поділки) 0,01 г, що цілком забезпечує вимоги ДСТУ на визначення пористості хліба. Якщо наважка з трьох

зразків буде становити, наприклад 25 г, відносна похибка результату вимірювання буде дорівнювати 0,08 %. Це означає, що похибка процесу зважування зразків буде практично незначимою у загальному результаті визначення пористості хліба.

3.4. Аналіз визначення пористості хлібобулочних виробів по ДСТУ 7045:2009

Основні положення методу викладені у тексті ДСТУ 7045:2009 [3]. Загальний вигляд та складові приладу наведені на рис. 3.7.



Рис. 3.7. Загальний вигляд приладу Журавльова

З часу введення у дію цього документу загальна нормативна база у царині стандартизації України значно розширилась та осучаснилась. Змінились не тільки вимоги до форми, структури та принципів викладання, але інструментальна база технічних вимірів у багатьох аспектах значно змінилась. Під змінами мається на увазі не звичайне оновлення парку приладів, заміна старих на нові без заміни принципів вимірювань. Сучасне обладнання розвивається від застосування вимірювальних приладів, призначених для простого визначення фізичної величини у напрямі до вимірювальних систем, здатних обробляти, зберігати та передавати інформацію у цифровому виді.

Спробуємо проаналізувати метод з огляду на вимоги ДСТУ 1.5:2015 «Національна стандартизація. ПРАВИЛА РОЗРОБЛЕННЯ, ВИКЛАДАННЯ ТА ОФОРМЛЕННЯ НАЦІОНАЛЬНИХ НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ».

По-перше, дія ДСТУ 7045:2009 поширюється на хлібо-булочні вироби масою від 0,2 кг і більше, інший базовий ГОСТ 5667-65 «ХЛЕБ И ХЛЕБОБУЛОЧНЫЕ ИЗДЕЛИЯ. Правила приемки, методы отбора образцов, методы определения органолептических показателей и массы изделий» теж не

містить посилань на метод визначення пористості для виробів з невеликою масою. Новий ДСТУ 7044:2022 “ ВИРОБИ ХЛІБОБУЛОЧНІ. Правила приймання, методи відбирання проб, методи визначання маси виробів» у тексті п. 5.1.7 вказує (далі цитата):

«Фізико-хімічні показники визначають протягом установленого строку придатності продукції, але не раніше ніж через 1 год для дрібноштучних виробів масою 200 г і менше, і не раніше ніж через 3 год. для інших виробів після виймання з печі.»

Це нічого, крім часу вимірювань, не додає у розумінні метода вимірювання фізичного показника – пористості м'якушки. Склалась ситуація, коли для частини асортименту хлібо-булочних виробів, з одного боку, необхідна перевірка “фізико-хімічного показника”, з іншого, нормативного методу не існує. Це підтверджується вимогами п. 4.3.3 ДСТУ-П 4585:2006, витяг з таблиці 2 цього документу наведений нижче (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Фізико-хімічні показники виробів булочних

Назва показника	Норма для виробів із борошна пшеничного			
	вищого сорту		першого та суміші вищого і першого сорту	
	подові	формові	подові	формові
Вологість м'якушки, %, не більше ніж	30,0-39,0	32,0-41,5	30,0-40,0	32,0-41,5
Кислотність м'якушки, град, не більше ніж	3,0	3,0	4,0	4,0
Пористість м'якушки, %, не менше ніж	65,0	68,0	63,0	68,0
Масова частка цукру в перерахунку на суху речовину, %	Відповідно до установленого вмісту згідно з рецептурою з допустимим відхилом $\pm 1,0$			
Примітка 7. У виробів нарізаних упакованих пористість визначають до стадії нарізування.				

По-друге, повертаючись до вимог ДСТУ 1.5:2015, проаналізуємо додержання положення цього документу за п. 6.1.7 де говориться, що «стандарт на продукцію має наводити тільки ті характеристики та вимоги, які можна перевірити об'єктивними методами», тобто інструментальними. Тому фраза у розділі 5 Порядок проведення аналізу ДСТУ 7045:2009 «приблизно на 1 см» викликає складності з методикою вимірювання.

Наступна у цьому розділі наводиться вимога до об'єму виїмки, яка повинна становити $(27 \pm 0,5)$ см³. Звичайний перерахунок показує, що відносна похибка становить $\pm 1,85$ %, Таких виїмок потрібно зробити 3 або 4 (в залежності від виду виробу), потім їх зважують одночасно. Процес зважування, як і будь-яке інструментальне вимірювання, носить стохастичний, або статистично невизначений характер. Похибки кожної виїмки можуть випадково скластися в один, чи інший бік, або нівелюватись. Для порівняння – розрахунки пористості «проводять з точністю до 1 %». Крім того, перевірка самого об'єму виїмки у 27 см³ пружного пористого тіла м'якушки є складною, з точки зору забезпечення точності вимірювання, задачею.

Дійсно, положення п.9.2.3.1 ДСТУ 1.5:2015 дозволяє наводити вимоги, які «можна задовольнити за умови дотримання будь-яких інших вимог (використання певних елементів технологічного процесу, покривання, спеціального технологічного устаткування або оснастки, тривалого приробляння, витримування готових виробів чи матеріалів тощо)», мається на увазі застосування приладу Журавльова. На практиці, врахувати вплив технічного стану приладу, фізичні особливості м'якушки, можливі дефекти форми виїмки та, особливо, кваліфікацію експериментатора становить складну задачу.

По-третє, щодо самого розрахунку. Наявність положення, що густину безпористої маси м'якушки приймають у довідковий спосіб, у невиправдано великій мірі покладається на суб'єктивні оцінки та досвід дослідника. Важливо, що запропонований спосіб не враховує поширену в останній час практику застосування різноманітних домішок для хлібу спеціальних властивостей.

3.5. Характеристики методу сканування зразків

До основних параметрів методу відносяться: час вимірювання, розподільча здатності та налаштування пристрою.

3.5.1. Дослідження впливу часу сканування від рівня розподільчої здатності пристрою PIXMA MP230

Сканер Canon PIXMA MP230 має низку налаштувань, які дозволяють обирати розподільчу здатність у межах від 100 до 600 пікс. на дюйм з можливістю керування з шагом 1 пікс./дюйм. За замовчуванні пристрій пропонує рівень 300 пікс./дюйм для звичайних потреб у скануванні графічних образів.

Крім цього є можливість обирати профіль: “фото” (за замовчуванням) або “документ”. З огляду того, що у кінцевому результаті аналізуватися буде чорно-біле зображення, обрали опцію – “документ”.

Кольоровий формат з варіантів : “кольорове”, “відтінки сірого” та “чорно-біле” був використаний “чорно-біле”, щоб отримати контрастну картинку без переходів відтінків сірого.

Опції щодо редагування яскравості та контрастності не використовувались.

Тип файлу для збереження інформації – формат PNG.

Попередні сканування зразка, кольорове зображення якого наведено на рисунку 3.8 у 6 режимах з шагом 100 пікс./дюйм показали, що швидкість сканування у приблизно 14 секунд (за паспортними даними) підтримується не в усьому діапазоні. З’ясувалось, що весь діапазон чітко розділений на 2 рівних інтервали. Щоб уникнути вплив зразка хлібо-булочного виробу на параметри сканування провели додаткову серію вимірювань, використавши білий аркуш канцелярського паперу формату А4. Результати досліджень представлені на рис. 3.9.



Рис. 3.8. Зображення зрізу дослідного зразка булочки «З кунжутом» (ДСТУ 4585:2006) у режимі 300 DPI кольоровий

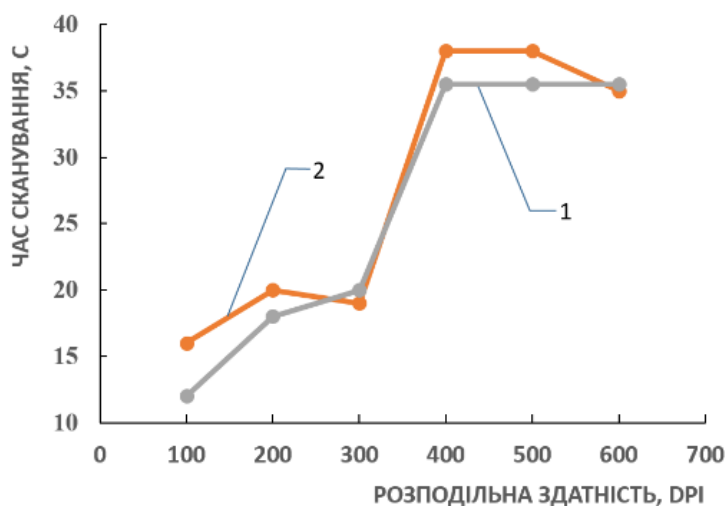


Рис. 3.9. Залежність часу сканування від розподільчої здатності:

1 – папір білий формату А4; 2 – дослідний зразок (рис. 3.8)

Як видно з графіку (рис.3.9) присутність у полі сканування різнокольорового об'єкту неістотно, але впливає на час сканування, збільшуючи його на деяких режимах на (3 – 4) секунди. Час на сканування у цих діапазонах відрізняється майже вдвічі, але і граничні значення у діапазоні (35 – 38) с можна вважати прийнятними для організації вимірювань.

3.5.2. Дослідження впливу розподільчої здатності на густину пікселів зображення

Показник густини (щільності) пікселів показує на величину пікселів у зображенні віднесено на 1 см зображення. Чим вище густина пікселів у зображенні, тим точніше формується уявлення про структуру об'єкту. Форма пор, їх границя, а у кінцевому результаті площа перерізу кожної пори може бути порахована з різною точністю.

Подальші дослідження проводились із графічними образами, які отримували безпосереднім скануванням зразка у чорно-білому режимі для документів за різної розподільної здатності пристрою. Характерний вигляд графічного образу наведений на рис. 3.10.

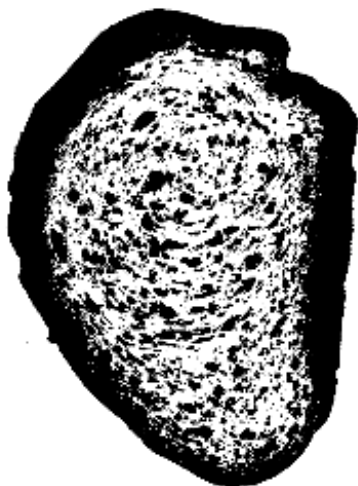


Рис. 3.10. Зображення зрізу дослідного зразка булочки «З кунжутом» (ДСТУ 4585:2006) у режимі 300 DPI чорно-біле, документ

Досліджуваний зразок має фізичну товщину ($3 \pm 0,2$) мм, тому по границях зображення з'являються затемнені ділянки тіні від світла скануючої голівки. Темні ділянки – пори, тому що вони теж мають фізичну глибину, білі ділянки – тіло зразка, що потрапило у переріз. Пористість помірно-рівномірна за розподілом, але має значні відмінності щодо величини пор. Аналізуючи це 2D-зображення нічого достовірного про глибину пор сказати не можна, для цього треба застосовувати інші методи (див. РОЗДІЛ 1).

Наступним кроком є вибір форми та площі ділянки для аналізу зображення. Звісно, щоб отримати усереднений достовірний результат, треба створити границю зони яка-мого ближче до скоринки (темна ділянка навколо зразка), але ця границя буде мати складну геометричну форму, яку буде неможливо відтворювати у кожному вимірюванні.

Найбільш простими для контролю площі виділеної ділянки є коло або прямокутник, з огляду на простоту формування обрали прямокутник. Зовнішній вигляд та місце розташування зони наведено на рис. 3.11.

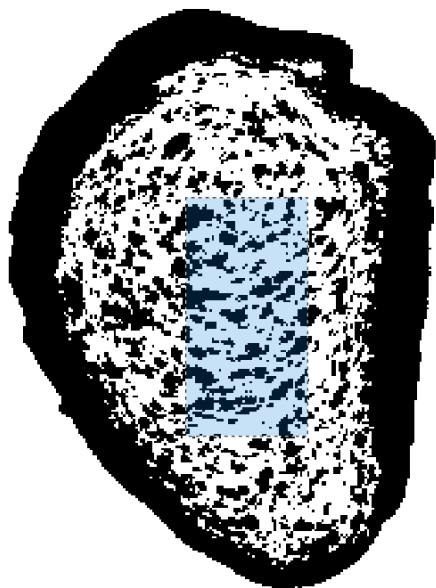


Рис. 3.11. Зображення зрізу дослідного зразка з позначенням ділянки булочки «З кунжутом» (ДСТУ 4585:2006) у режимі 300 DPI чорно-біле, документ

На зображення зразка, які отримані за різного рівні розподільної здатності (від 100 пікс./дюйм до 600 пікс./дюйм) накладались ділянки, які за формою, площею та місцем розташування не змінювались. Аналіз апаратними методами дозволив оцінити густину пікселів на виділених ділянках, результати представлені на рис.3.12.

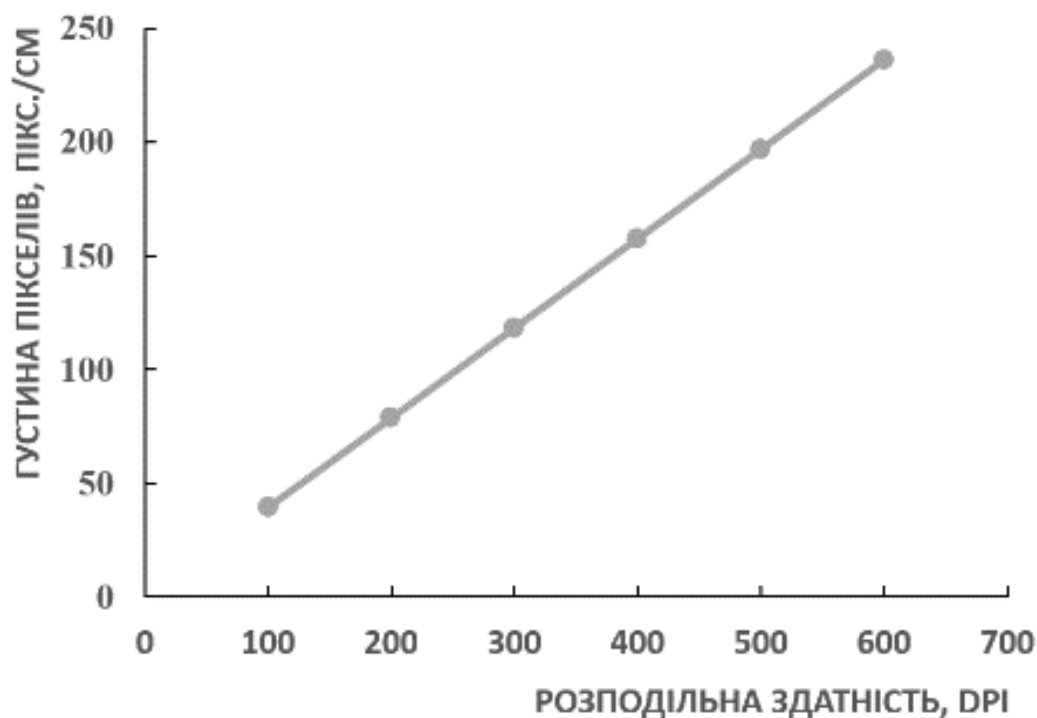


Рис.3.12. Графік залежність густини пікселів зображення від розподільної здатності пристрою

Очікувалась певна кореляція результатів з часом вимірювання, проте залежність має пряmolінійний характер зі стабільним темпом зростання густини пікселів у 1,33 рази. За формальними ознаками найбільш якісну і інформативну інформацію пристрій забезпечує за розподільної здатності 600 пікс./дюйм, теоретично це було очікуваним результатом. Наочно це можна продемонструвати порівнянням збільшеного зображення ділянки з різною густиною пікселів (рис. 3.13).

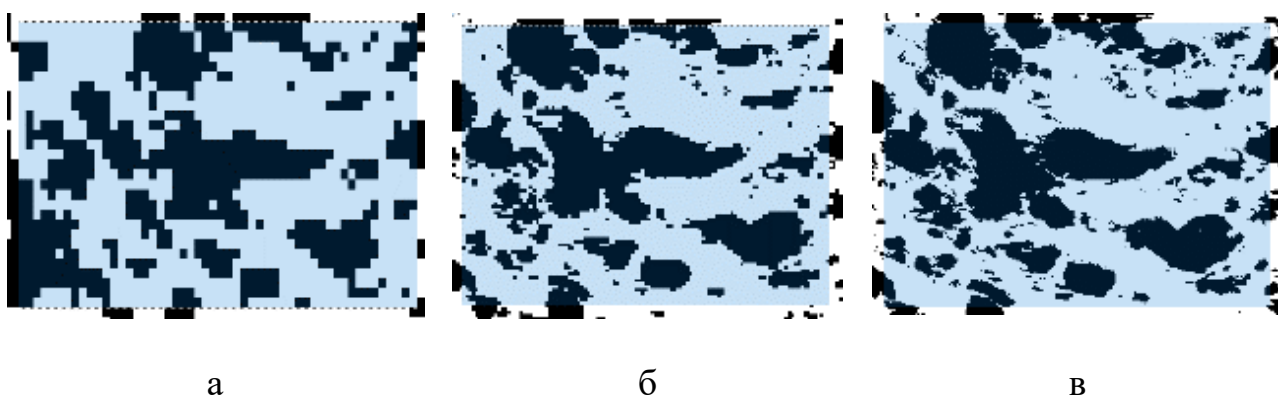


Рис. 3.13. Графічні зображення ділянки поверхні зразка з густиною пікселів:
а – 39,36 пікс./см; б – 118,12 пікс./см; в – 236,21 пікс./см






На цьому етапі експерименти із застосуванням пристрою для сканування завершилися, у подальшому використовувались електронні образи виділеної зони зразка з різною густиною пікселів.

3.5.3. Визначення пористості м'якушки хлібо-булочного виробу

Апаратними методами програми Paint.net версія 4.3.12 аналізували електронні графічні зображення у межах виділеної ділянки (див. рис. 3.11) які наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Графічні зображення зразка хлібо-булочного виробу за різної розподільної здатності

Графічне зображення	Розподільна здатність приладу, пікс./дюйм	Густина пікселів, пікс./см
	200	78,73
	300	118,12
	400	157,47
	500	196,84
	600	236,21

Без значного збільшення графічні зображення мають майже ідентичний вигляд, але найбільшу цінність містять цифрові параметри, аналіз яких забезпечує визначення пористості хлібо-булочного виробу. Метод цифрового оброблення зображення використовували для аналізу зображення зрізу м'якушки суфле, яке мало замалий об'єм та глєвку консистенцію для методу із використанням приладу Журавльова [17]. Сутність методу цифрового оброблення зображення полягала в аналізі кольорового зображення зрізу м'якушки суфле шляхом сканування, з подальшим підрахунком темних областей [18, 19], для підрахунку використовували комп'ютерну програму «ImageJ» National Institutes of Health [18, 20].

Основна відмінність методу, який використаний у наших дослідженнях, полягала у безпосередньому аналізі чорно-білого зображення, уникаючи при цьому додаткові етапи обробки зображення. Послідовність обрахунку полягала у наступному. Будь-яке зображення з табл. 3.2 імпортували у програму Paint.net, інструментами програми розмічали контрольну ділянку (див. рис. 3.11), програма оцінювала загальну площу виділеної ділянки та оцінювала площу усіх темних (чорних) образів. Результати таких обрахунків виводяться на монітор у нижньому лівому куті екрана. Зовнішній вигляд інтерфейсу програми та місце розташування цифрової інформації (позначено червоним овалом) наведений на рис. 3.14.

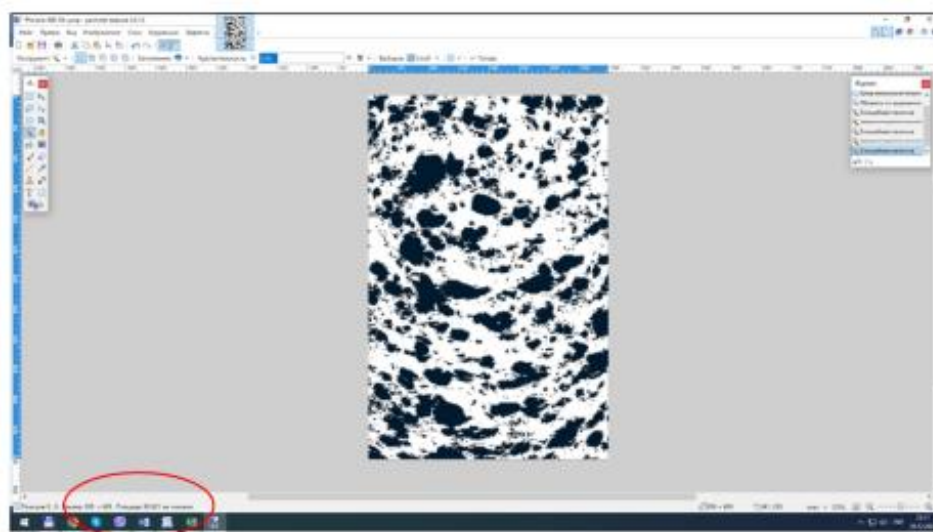


Рис. 3.14. Інтерфейс програми Paint.net версія 4.3.12

Фінальним етапом визначення пористості був нескладний розрахунок, який полягав у обчисленні відношення сумарної площі усіх чорних ділянок до загальної площі усієї виділеної ділянки.

Такий метод є певним аналогом метода із використанням приладу Журавльова, тільки там використовують об'ємні (тривимірні) фізичні параметри. Результати розрахунків пористості зразка хлібо-булочного виробу наведені на рис. 3.15.

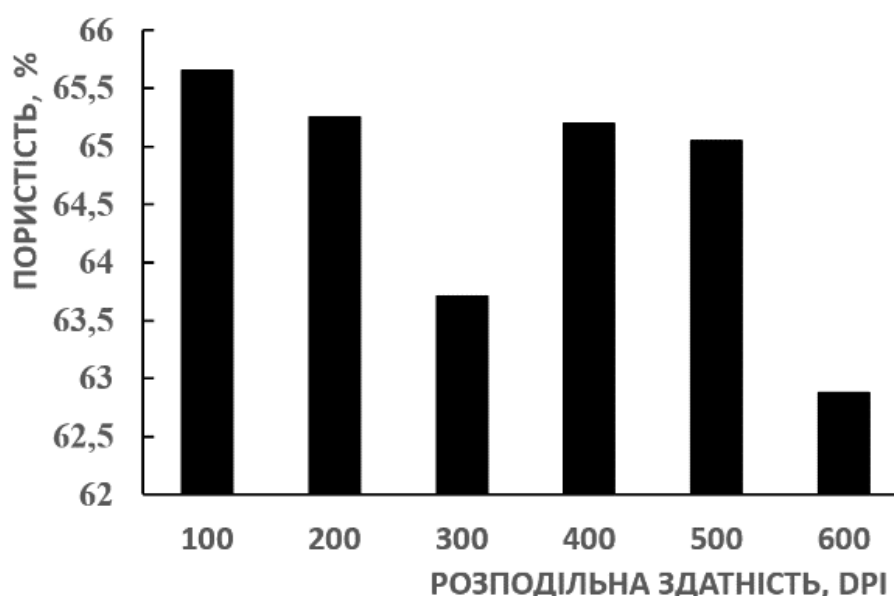


Рис. 3.15. Розрахована пористість зразка хлібо-булочного виробу за різної розподільної здатності пристрою

До початку аналізу результатів необхідно наголосити на певні особливості методу за яким проводили дослідження. Вони полягали у наступному:

- дослідний зразок був вирізаний з тіла виробу в **одиночному** екземплярі;
- його розмістили на столі сканера та зробили операції сканування за різних установок приладу, зразок не переміщали;
- витрати часу на всі виміри склав не більше 25 хвилин;
- температура зразка упродовж експерименту не змінилась;
- доступ повітря до поверхні зразка був обмежений конструктивними елементами пристрою.

Враховуючи дані про склад булочки «З кунжутом» (п. 2.5) нормативна пористість м'якушки повинна бути не менше ніж 65,0 % (табл. 3.1). Тільки частина розрахованих даних перетинає цю межу, при цьому спостерігається зворотна кореляція відносно розподільної здатності. Ще одна особливість полягає у розподілі даних на 2 групи з інтервалами (100-300) DPI (400-600) DPI, тут простежується пряма кореляція зі зміною часу на сканування (рис. 3.9). Вочевидь, ці особливості по'язані з внутрішніми налаштуваннями сканера або специфікою програмного забезпечення.

Звичайна логіка доводить, що про збільшенні розподільної здатності буде врахований найбільш точно розподіл між чорними та білими ділянками, тобто границя пор максимально наблизиться до реальної, і, відповідно, адекватна розрахована пористість буде відповідати 600 DPI. Залишається невирішеною проблема співвідношення оцінки пористості хлібо-булочних виробів за методикою ДСТУ 7045:2009 і запропонованим методом, яка може бути вирішена у ході подальших досліджень.

3.6. Оцінка методики визначення пористості та рекомендації

Одержані результати показали на можливість і перспективність визначення пористості хлібо-булочних виробів, заснованому на аналізі чорно-білого цифрового відбитка поверхні зрізу. Такий відбиток можна отримати практично за допомогою будь-якого офісного приладу для сканування та персонального комп'ютера, використання спеціалізованих програм для обробки зображення не потрібно.

Враховуючи неістотні відмінності у часі процесу сканування, доцільніше проводити процес за максимально можливих налаштувань розподільної здатності. Для підвищення статистичної значимості кількість зразків збільшити до 3-5 штук. Можливість довільно обирати місце та площу ділянки для аналізу дозволяє визначати локальну пористість у будь-якому місці зрізу м'якушки. Товщина зразка принципового значення не має і обмежується фізико-механічними властивостями м'якушки. Загальна площа зразка обмежена габаритами робочої

зони сканера. Зріз повинен бути виконаний за один ріжучий рух, відхилення від площинності зрізу не більше $(0,5 \pm 0,1)$ мм.

Необхідність врахування складу виробу прибирається. Здатність методу не обмежується масою та об'ємом виробу, дослідження можна проводити у будь-якому перерізі/перерізах виробу.

В якості прикладу застосування методу сканування на рис. 3.16 наведені окремі зображення поверхні плоского пряника, що був розрізаний навпіл, і відсканований.

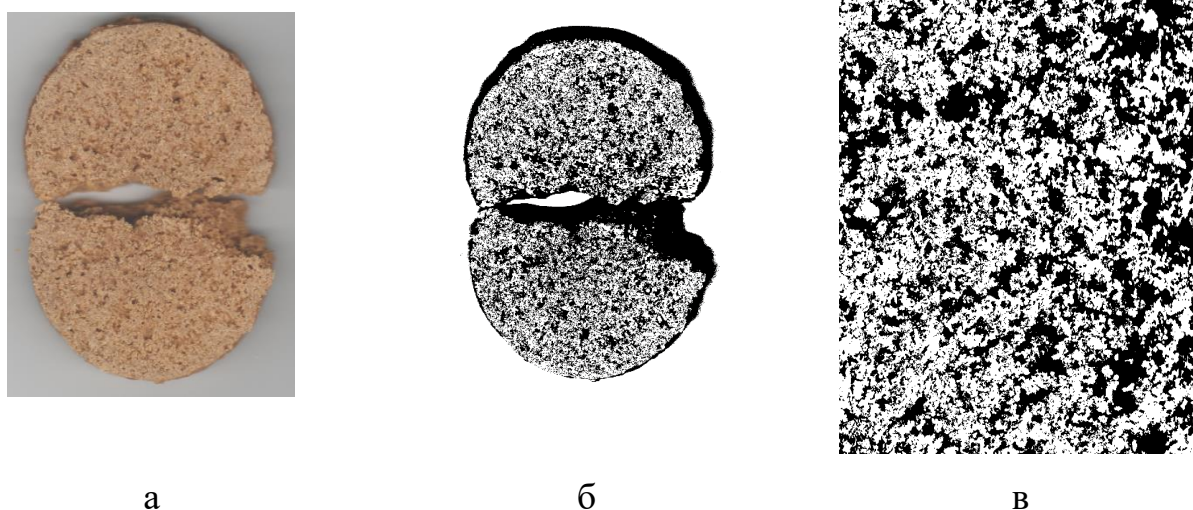


Рис. 3.16. Графічне зображення поверхні зразка в площині розділення, розподільна здатність - 300 DPI:

а – кольорове зображення, б – чорно-біле зображення, в – ділянка поверхні для оцінки пористості

Представлені зображення можуть бути використані для якісної оцінки структури пор – рівномірність розподілу пор, дрібні або великі, тонкостінні або товстостінні тощо.

Пористість тіла зразка за методикою ДСТУ 7045:2009 визначити неможливо у зв'язку обмеженими геометричними розмірами.

Застосування нового методу при аналізі поверхні (рис. 3.16, в) дозволило визначити пористість – 46,8 %. З нормативним значення цю величину порівняти неможливо по причині відсутності останньої, але для наукових задач та проблем вдосконалення рецептур і технологій виробництва метод може бути корисним.

РОЗДІЛ 4

Оцінка похибки вимірювання та порівняння методів

4.1. Пористість хліба по ГОСТ ДСТУ 7045:2009

За методикою ДСТУ 7045:2009 відбирали зразки з 3 хлібин хліба пшеничного «Сімейного» до досягнення статистично значимої вибірки з 10 зразків. Порядок, обладнання та місця відбирання зразків представлено на рисунку 4.1.



Рис. 4.1. Елемент процедури відбирання та зважування зразків хліба за методикою ДСТУ 7045:2009

Як видно з рисунка (4.2) форма зразків, які згруповані по 3 штуки, значно відрізняються і мають характерно виражені вади форми, що має характер несистематичної випадкової похибки у подальшому призводить до значної розбіжності кінцевого результату.



Рис. 4.2. Зовнішній вигляд зразків хліба пшеничного «Сімейного»

Результати зважування кожного елемента зразка, середня сумарна вага зразків, яка і використовується для розрахунків пористості, та розрахована пористість хліба наведені у таблицях 4.1, 4.3 і 4.5.

Результати математико-статистичного обрахунку результатів вимірювання пористості хліба пшеничний «Сімейний» за методом ДСТУ 7045:2009 представлені у таблицях 4.2, 4.4 і 4.6.

Таблиця 4.1

Результати визначення пористості хліба пшеничний «Сімейний» за методом ДСТУ 7045:2009, зразки 1 –4 (Хліб пшеничний «Сімейний» № 1)

Зразок	Вага, г	Середня вага, г	Сумарна вага, г	Середня сумарна вага, г	Пористість, %
1	5,37	6,09±1,84 (6,09±30,1 %)	18,21	Зразки(1,2,3,4) 21,42±4,01 (21,42±18,74%)	82,8±18,7%
	6,06				
	6,85				
2	7,98	6,98±2,95 (6,98±42,2 %)	20,69		80,5±18,7 %
	7,29				
	5,67				
3	7,11	7,65±1,48 (7,65±19,40%)	22,85		78,5±18,7 %
	7,54				
	8,29				
4	7,59	7,98±0,85 (7,98±10,64%)	23,91		77,5±18,7 %
	8,21				
	8,15				

Таблиця 4.2

Результати математико-статистичного обрахунку результатів вимірювання пористості хліба пшеничний «Сімейний» за методом ДСТУ 7045:2009

Зразки 1, 2, 3, 4 (Хліб пшеничний «Сімейний» № 1)	
Середнє	21,415
Стандартна помилка	1,2610148
Медіана	21,77
Мода	#Н/Д
Стандартне відхилення	2,52202961
Дисперсія вибірки	6,36063333
Екссес	-1,2417415
Асиметричність	-0,6157489
Інтервал	5,7
Сума	85,66
Рахунок	4
Рівень надійності (95,0%)	4,0131119

Таблиця 4.3

Результати визначення пористості хліба пшеничний «Сімейний» за методом ДСТУ 7045:2009, зразки 5,6 (Хліб пшеничний «Сімейний» № 2)

5	6,03	6,35±1,36 (6,35±21,4 %)	18,98	Зразки (5,6) 18,46±6,67 (18,46±36,13%)	82,1±36,13%
	6,99				
	6,05				
6	5,87	5,99±0,27 (5,99±4,55 %)	17,93		83,1±36,13%
	6,03				
	6,08				

Таблиця 4.4

Результати математико-статистичного обрахунку результатів вимірювання пористості хліба пшеничний «Сімейний» за методом ДСТУ 7045:2009

Зразки 5,6 (Хліб пшеничний «Сімейний» № 2)	
Середнє	18,455
Стандартна помилка	0,525
Медіана	18,455
Мода	#Н/Д
Стандартне відхилення	0,74246212
Дисперсія вибірки	0,55125
Екссес	#ДЕЛ/0!
Асиметричність	#ДЕЛ/0!
Інтервал	1,05
Сума	36,91
Рахунок	2
Рівень надійності (95,0%)	6,67075749

Таблиця 4.5

Результати визначення пористості хліба пшеничний «Сімейний» за методом ДСТУ 7045:2009, зразки 7 – 10 (Хліб пшеничний «Сімейний» № 3)

7	6,43	7,45±2,33 (7,45±31,21%)	22,31	7,8,9,10 22,26±1,11 (22,26±5,00%)	79,0±5,00%		
	7,65						
	8,27						
8	5,59	6,88±2,87 (6,88±41,72%)	21,49		7,8,9,10 22,26±1,11 (22,26±5,00%)	79,7±5,00%	
	7,23						
	7,82						
9	7,90	7,37±2,42 (7,37±32,92%)	22,05			7,8,9,10 22,26±1,11 (22,26±5,00%)	79,2±5,00%
	7,96						
	6,24						
10	7,47	7,75±2,92 (7,75±37,67%)	23,17				7,8,9,10 22,26±1,11 (22,26±5,00%)
	9,04						
	6,74						

Таблиця 4.6

Результати математико-статистичного обрахунку результатів вимірювання пористості хліба пшеничний «Сімейний» за методом ДСТУ 7045:2009

Зразки 7,8,9,10 (Хліб пшеничний «Сімейний» № 3)	
Середнє	22,255
Стандартна помилка	0,34970225
Медіана	22,18
Мода	#Н/Д
Стандартне відхилення	0,69940451
Дисперсія вибірки	0,48916667
Екセス	1,06023151
Асиметричність	0,60390143
Інтервал	1,68
Сума	89,02
Рахунок	4
Рівень надійності (95,0%)	1,11290865

4.2. Пористість хліба методом сканування

Зразки хліба для подальшого сканування відбирались одночасно з зразками за методом ДСТУ 7045:2009 у поперечному напрямі завтовшки ($2 \div 3$) мм. Зовнішній вигляд зразка представлений на рисунку 4.3.



Рис. 4.3. Зразок хліба для сканування

Далі усі десять зразків сканували за певних налаштувань сканера для отримання зони оцінювання пористості хліба (рис. 4.4).

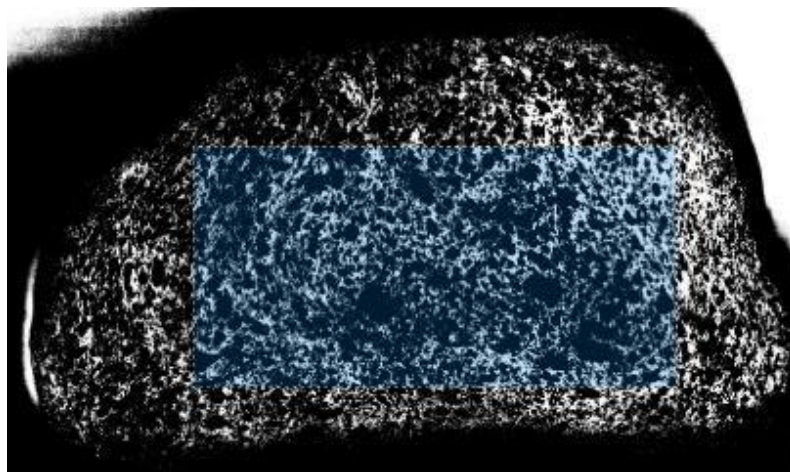


Рис. 4.4. Результат сканування зразка та розміщення зони оцінювання

Потім зону оцінювання виокремлювали і апаратними методами пакета програми PAINT.NET визначали пористість зразків (рис. 4.5).

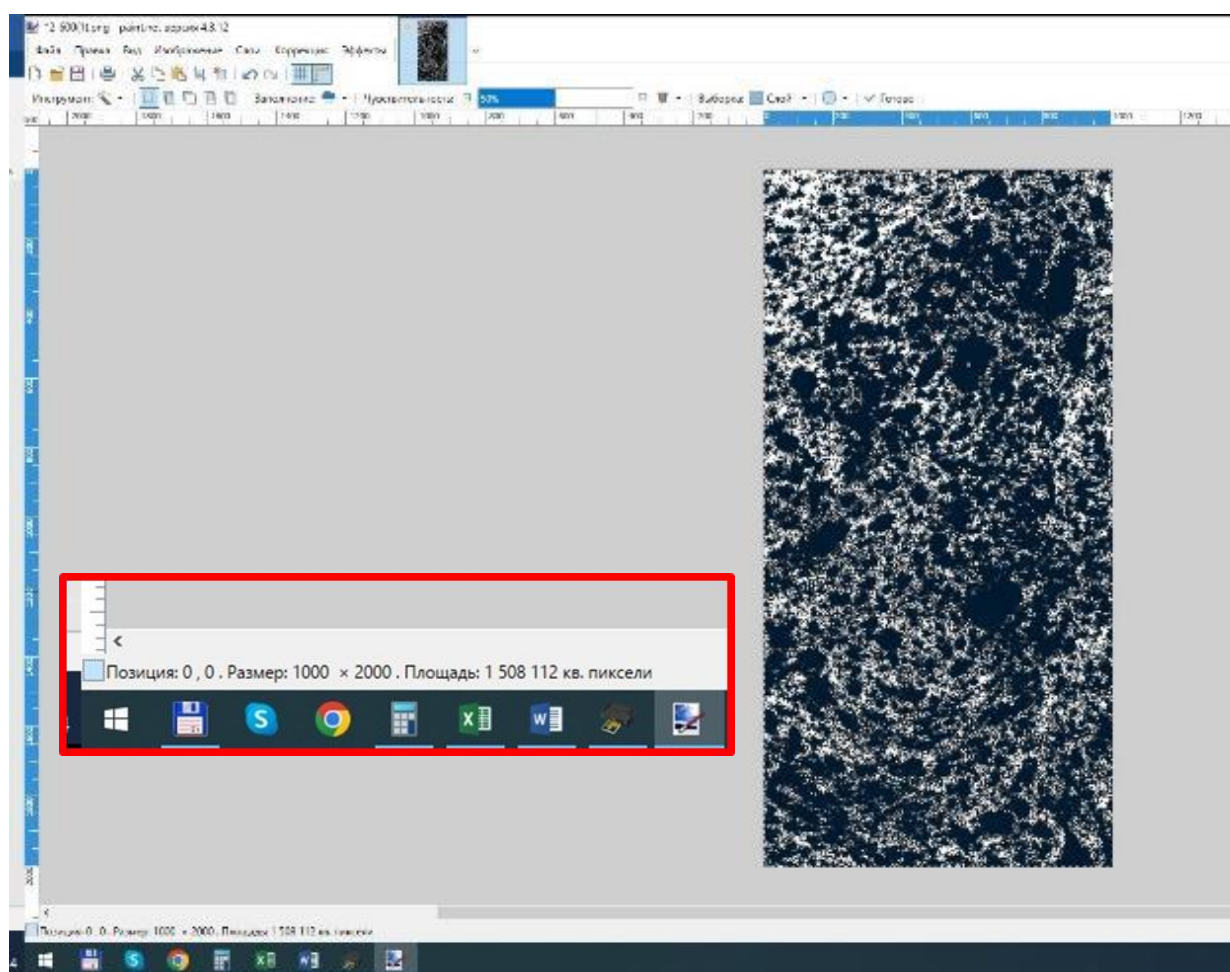


Рис. 4.5. Скріншот процедури оцінювання пористості хліба

Результати розрахунків по визначенню пористості 10 зразків хліба пшеничного «Сімейний» наведені у таблиці 4.7.

Таблиця 4.7

Результати визначення пористості хліба пшеничний «Сімейний» за методом сканування

№	Пористість (скан), %	Середня пористість (скан), %	Пористість, % (відносна похибка)
Хліб пшеничний «Сімейний» № 1			
1	72,80	70,99±3,75 (70,99±1,40 %)	(72,80±1,40) %
2	73,07		(73,07±1,40) %
3	68,19		(68,19±1,40) %
4	69,89		(69,89±1,40) %
Хліб пшеничний «Сімейний» № 2			
5	83,92	83,13±10,04 (83,13±12,08 %)	(83,92±12,08) %
6	82,34		(82,34±12,08) %
Хліб пшеничний «Сімейний» № 3			
7	65,51	66,73±8,74 (66,73±13,10 %)	(65,51±13,10) %
8	68,89		(68,89±13,10) %
9	59,77		(59,77±13,10) %
10	72,73		(72,73±13,10) %

Результати математико-статистичного обрахунку результатів вимірювання пористості хліба пшеничний «Сімейний» за методом сканування зразків наведені у таблицях 4.8, 4.9 та 4.10.

Таблиця 4.8

Результати математико-статистичної обробки значень пористості хліба
пшеничного «Сімейного» методом сканування

Зразки 1,2,3,4 (Хліб пшеничний «Сімейний» № 1)	
Середнє	70,9875
Стандартна помилка	1,17800944
Медіана	71,345
Стандартне відхилення	2,35601889
Дисперсія вибірки	5,550825
Екцес	-3,5148889
Асиметричність	-0,4195111
Інтервал	4,88
Сума	283,95
Рахунок	4
Рівень надійності (95,0%)	3,7489518

Таблиця 4.9

Результати математико-статистичної обробки значень пористості хліба
пшеничного «Сімейного» методом сканування

Зразки 5,6 (Хліб пшеничний «Сімейний» № 2)	
Середнє	83,13
Стандартна помилка	0,79
Медіана	83,13
Мода	1,11722871
Стандартне відхилення	1,2482
Дисперсія вибірки	#ДЕЛ/0!
Екцес	#ДЕЛ/0!
Асиметричність	1,58
Сума	166,26
Рахунок	2
Рівень надійності (95,0%)	10,0379017

Таблиця 4.10

Результати математико-статистичної обробки значень пористості хліба пшеничного «Сімейного» методом сканування

Зразки 7,8,9,10 (Хліб пшеничний «Сімейний» № 3)	
Середнє	66,725
Стандартна помилка	2,74765809
Медіана	67,2
Мода	#Н/Д
Стандартне відхилення	5,49531619
Дисперсія вибірки	30,1985
Ексцес	-0,106247
Асиметричність	-0,4480568
Інтервал	12,96
Сума	266,9
Рахунок	4
Рівень надійності (95,0%)	8,74427435

4.3. Порівняння метрологічних характеристик двох методів

Усі розраховані середні значення пористості зразків хліба пшеничного «Сімейний» за двома методами зведені у таблиці 4.11. Структура та наповнення таблиці даними потребує деяких додаткових пояснень. Зразки пронумеровані від 1 до 10 в обох методах, порівняння їх цілком коректне з огляду на особливість відбирання зразків. Вона полягала у тому, що зразки виділяли з одного шматка (скибки) хліба одночасно. Розрахунок за методикою ДСТУ 7045:2009 передбачає використання густини безпористої маси м'якушки, аналіз складу хліба залишає 2 варіанти, з яких найбільш вірогідний з густиною $1,31 \text{ г/см}^3$. Пораховані та наведені у таблиці 4.11 обидва варіанти, але цілей подальшого порівняння будемо використовувати дані за релевантністю Пр, % (поля в таблиці позначені зеленим кольором).

Таблиця 4.11

Зведені дані результатів вимірювання пористості хліба пшеничного «Сімейний» за двома досліджуваними методами

№	V, см ³	ρ, г/см ³	ρ, г/см ³	маса, г	П, %	Пр, %	П(скан), %
Хліб пшеничний «Сімейний» № 1							
1	81	1,28	1,31	18,21	82,4	82,8	72,80
2	81	1,28	1,31	20,69	80,0	80,5	73,07
3	81	1,28	1,31	22,85	78,0	78,5	68,19
4	81	1,28	1,31	23,91	76,9	77,5	69,89
Хліб пшеничний «Сімейний» № 2							
5	81	1,28	1,31	18,98	81,7	82,1	83,92
6	81	1,28	1,31	17,93	82,7	83,1	82,34
Хліб пшеничний «Сімейний» № 3							
7	81	1,28	1,31	22,31	78,5	79,0	65,51
8	81	1,28	1,31	21,49	79,3	79,7	68,89
9	81	1,28	1,31	22,05	78,7	79,2	59,77
10	81	1,28	1,31	23,17	77,7	78,2	72,73

Аналіз результатів визначення середньої пористості хліба за двома методами дозволяє зробити декілька висновків:

– переважно (8 з 10 зразків) пористість порахована за методом сканування має нижчі значення;

– виключення становлять 2 зразки (5 та 6), які мають близькі значення, пояснюється тим, що зразки відбирались з середини тіла хлібини;

– різниця між найбільшими та найменшими значеннями пористості більша у методі сканування;

– пористість хліба за методом сканування у зразках з середини хлібини (1, 2, 5, 6, 7, 8) мають набагато менший розмах, ніж у зразків відібраних по краях хлібини.

Іншою важливою задачею є порівняння метрологічних характеристик досліджуваних методів. Масив даних для аналізу наведений у таблицях 4.1, 4.3, 4.5 та 4.7. Основним інструментом аналізу буде невизначеність (похибка абсолютна та відносна).

Почнемо з методу визначення пористості хліба за ДСТУ 7045:2009. Найбільша невизначеність мають вимірювання ваги вибірок (рис. 4.2), яка коливається у широких межах від $\pm 4,5\%$ до $\pm 42\%$ у термінах відносної похибки. Подальше зважування зразків у складі трьох вибірок значним чином нівелює розбіжності у формі та вазі вибірок, проте невизначеність залишається на високому рівні у межах від $\pm 5,00\%$ до $\pm 36,13\%$ відносної похибки.

Нагадаємо, що згідно правил обробки результатів аналізу ДСТУ 7045:2009 розрахунки проводять з точністю до 1% . Для порівняння – 1% пористості хліба при середній пористості 80% становить $1,25\%$ відносної похибки результату розрахунку.

Похибка методу переважно формується на етапі формоутворення вибірок, причини несистемні, випадкові і багато у чому залежать від стану обладнання та кваліфікації оператора. Подальші операції зважування після відбирання зразків не привносять відчутну частку похибки завдяки використанню ваг 4 класу точності (див. розділ 3.3).

Щодо метрологічних характеристик методу сканування. Усі обраховані результати досліджень наведені в таблиці 4.7. Відносна похибка вимірювання пористості хліба обрахована для кожної хлібини окремо, величина її становить від $\pm 1,40\%$ до $\pm 13,10\%$. Головними факторами походження такого рівня похибок на відміну від методу за ДСТУ 7045:2009 є:

- розміщення місця відбирання зразків, для зразків отриманих з країв хлібини розмах середніх значень набагато більший, ніж для зразків з середини хлібини;

- джерелами розбіжності середніх значень пористості є відмінності у локальній пористості для кожного окремого досліджуваного зразка, такі розбіжності і формують рівень похибки методу;

– завдяки простій процедурі формування плоскій поверхні зразка (однократне відрізання) істотного впливу на кінцевий результат вона не має;

– подальші операції із сканування та обрахунки співвідношення чорного/білого (визначення пористості) призводять до появи похибок, але вони пов'язані з величиною площі і розміщення її всередині зони оцінювання на поверхні зразка, наявність локальних дефектів на поверхні зразка, значення внутрішніх налаштувань сканера і інш., такі похибки носять системний характер і їх можна визначити і врахувати;

– оцінювання за даним методом дає сталі результати для зразків відібраних з середньої частини хлібини і їх можна розповсюджувати на всю хлібину, дослідження зразків з країв хлібини буде джерелом інформації про розподіл локальної пористості по тілу хлібини;

– перевагами методу сканування можна вважати можливість оцінювання пористості дрібних виробів, виробів з твердою (пряник) або надто м'якою (волоگو) структурою, локальної пористості у будь-якому місці тіла хлібини.

РОЗДІЛ 5

Планування експерименту

В цьому розділі викладені підходи та дії спрямовані на визначення ступеня впливу істотних параметрів на результат вимірювання пористості хліба методом сканування.

5.1 Описання моделі

Використання технічних систем, наприклад, вимірювальних приборів та комплексів, спрямована на досягнення конкретної мети. Залежно від цієї мети можуть розглядатись різні співвідношення між самим об'єктом і зовнішнім середовищем. Тому, система може виділятися (формалізуватися) по-різному і можуть виникати різні взаємодії цього об'єкта з зовнішнім середовищем [21].

У загальному випадку технічна система, як об'єкт моделювання, характеризується такими параметрами:

- 1) вхідні (x_1, x_2, \dots, x_i) – значення можуть бути виміряні (встановлені), але можливість впливу на них з боку системи відсутня;
- 2) управляючі (u_1, u_2, \dots, u_n) – мають прямий вплив на технічну систему та дозволяють управляти вихідними параметрами;
- 3) збурюючі (z_1, z_2, \dots, z_k) – значення змінюються випадково з плином часу та недоступні для зміни дослідником;
- 4) вихідні (y_1, y_2, \dots, y_j) – характеризують стан технічної системи або результат її функціонування від загального впливу вхідних, управляючих та збурюючих параметрів [22].

Поняття системи та моделі взаємопов'язані. Модель являє собою обраний спосіб опису системи. Модель дозволяє з усієї різноманітності проявів досліджуваного об'єкта вирізняти тільки ті, які необхідні з погляду розв'язування проблеми. Модель – не точна копія об'єкта, а відображення лише певної частини його властивостей. Тому, головне завдання моделювання – розумне спрощення моделі, тобто вибір ступеня подібності та об'єкта.

Математичною моделлю системи називають її опис формальною мовою, що дозволяє робити висновки про певні риси поведінки цієї системи за допомогою формальних процедур над її описом.

Оскільки математичний опис не може бути всеосяжним та ідеально точним, то математичні моделі описують не реальні системи, а їх спрощені (гомоморфні) моделі. Математична модель має форму функціональних залежностей між параметрами, що їх враховує відповідна концептуальна модель. Ці залежності конкретизують причинно-наслідкові зв'язки, виявлені в концептуальній моделі, які і характеризують їх кількісно.

Математична мова може бути аналітичною (рівняння), графічною (графіки, структурні схеми, графи), матричною й табличною. Відповідно до мети досліджень спланований експеримент для створення рівняння, що визначає вплив параметрів моделі на результат вимірювання пористості хлібо-булочних виробів [21].

5.2. Планування експерименту

При математичному моделюванні технічних систем математична модель повинна мати такі структурні елементи [23, 24]:

обмеження системи – граничні значення, які накладаються на параметри функціонування технічної системи – внутрішні налаштування пристрою або граничні межі регулювання таких налаштувань;

цільову функцію, яка виражає залежність ефекту функціонування технічної системи від параметру, що регулюється;

вхідні параметри – сукупність вхідних показників процесу, які визначають зміст та властивості технічної системи при її моделюванні – площа зразки повинна мати мінімальну площу (містити статистично значиму кількість пор) та максимальну площу (обмежена площею стола сканера), зразки не повинні мати розривів;

вихідні параметри – кількісні та якісні показники системи, які характеризують функціонування системи та залежать від сумарної дії зовнішніх факторів, вхідних параметрів – пористість хліба.

управляючі параметри – чинять пряму дію на нестабільність і дозволяють керувати роботою технічної системи – площа зони оцінювання та рівні налаштування параметрів вимірювального пристрою (сканера);

збурюючі параметри – постійно вимірювані параметри, які впливають на вихідні параметри – до них можна віднести фізичний стан досліджуваного зразка (сировина, умови виробництва, транспортування і зберігання) та параметри оточуючого середовища (температура, відносна вологість, тиск). Впливати на передісторію зразка в межах експерименту не планувалось, хоча безпосередньо на параметр якості (пористість) вони мають вирішальне значення, але на процес та результат вимірювання – статистично невідчутні. Зважаючи на час вимірювання (не більше 1 хвилини), впливом від зміни факторів оточуючого середовища можна знехтувати.

Створену математичну модель легко представити у вигляді двох послідовних блоків з усіма вищенаведеними параметрами.

Важливою властивістю об'єкта дослідження є ступінь відтворення результатів, для оцінки якої необхідно при одному й тому ж стані об'єкта у різні моменти часу провести декілька серій експериментів, які в плануванні експерименту прийнято називати паралельними. Для виключення впливу на результати різних похибок, пов'язаних з порядком проведення експериментів у серії, номер експерименту визначали випадково [23, 24].

Для математичного моделювання використовували математичну модель об'єкту дослідження. Під математичною моделлю розуміють рівняння, яке пов'язує параметр оптимізації з факторами. Це рівняння в загальному вигляді можна записати так [23, 24]:

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_k), \quad (5.1)$$

де k – кількість факторів;

x_1, x_2, \dots, x_k – фактори.

Така функція називається функцією відгуку.

Кожний фактор може набувати під час експерименту одне з декількох значень. Такі значення називають рівнями. Фактор може приймати нескінченно багато значень (нескінченний ряд), але на практиці точність, з якою виявляються ці значення не безмежна.

Щоб визначити кількість різних станів, достатньо кількість рівнів факторів піднести до ступеня кількості факторів k :

$$N = p^k, \quad (5.2)$$

де N – кількість станів;

p – кількість рівнів.

Планування експерименту передбачало активне втручання в процес і можливість вибору в кожному експерименті тих рівнів факторів, які викликають інтерес. Такий експеримент називається активним. Об'єкт, на якому можливий активний експеримент називають керованим.

При відборі факторів вирішували компромісну оптимізаційну задачу, яка витікає з мети розробки математичної моделі. З безлічі факторів, які використовували і змінювали під час проведення попередніх експериментів, методом рангової кореляції обрані найбільш впливові у наступній послідовності: площа зони оцінювання > розподільча здатність при скануванні > яскравість та контрастність образу > час сканування > налаштування програми розпізнавання образів. Одна частина факторів пов'язані між собою і одночасно не можуть бути незалежними, друга частина – мають мінімальний вплив на результат.

При плануванні експерименти виконували за складеною схемою (матрицею планування), яка має оптимальні властивості. Всі фактори при цьому варіюються одночасно. Невідомі або невключені в дослідження фактори розглядались як випадкові величини.

Метод планування експерименту дозволяє вирішувати два види задач:

- отримувати математичну модель об'єкту у вигляді поліному;
- знаходити параметри раніше відомої аналітичної моделі.

За допомогою отриманих залежностей можливо будувати геометричні образи, які дозволяють більш наочно уявляти досліджуваний процес. Рівнянню (5.1) відповідає деяка гіперповерхня у багатовимірному просторі, яка зветься поверхнею відгуку, а простір, в якому є вказана поверхня – факторним простором [24].

Факторний простір в експерименті обмежили двома факторами: розподільна здатність сканера і площа зони оцінювання зразка. Фактори змінювали на трьох рівнях: максимальне, мінімальне значення та середина діапазону. В якості об'єкту дослідження обрали зразок «Хліба пшеничного нарізаного» ДСТУ 7517:2014 виробництва «Наша Булочка». Зовнішній вид образу після сканування представлений на рис. 5.1.

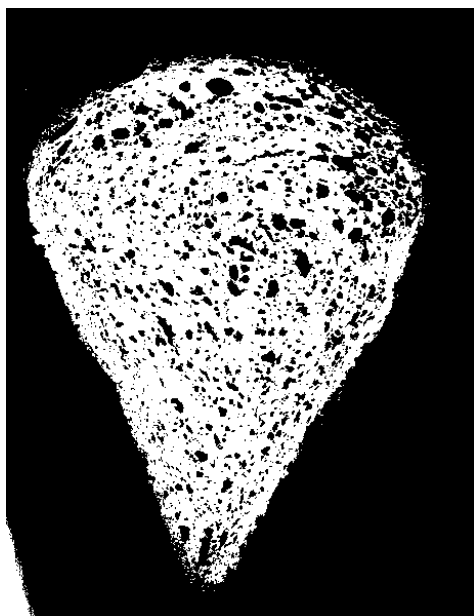


Рис. 5.1. Зовнішній вигляд образу зразка після сканування з розподільною здатністю 600 пікс./кв. дюйм

Згідно плану були проведені виміри у семи точках факторного простору, результати представлені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Матриця планування експерименту

№	x_1 (розподільна здатність, пікс/кв. дюйм)	x_2 (площа зони оцінювання, см^2)	y (пористість, %)
1	2	3	4
1	-1 (200)	-1 (20.02)	77.27

Продовження табл. 5.1

1	2	3	4
2	+1 (600)	-1 (20.02)	77.07
3	-1 (200)	+1 (30.07)	78.12
4	+1 (600)	+1 (30.07)	77.89
5	0 (400)	0 (25.04)	77.15
6	0 (400)	0 (25.04)	77.87
7	0 (400)	0 (25.04)	78.59

Обробляли результати експерименту за допомогою прикладної програми «Статистика». Покрокові результати обробки представлені на рисунках 5.2. – 5.10.

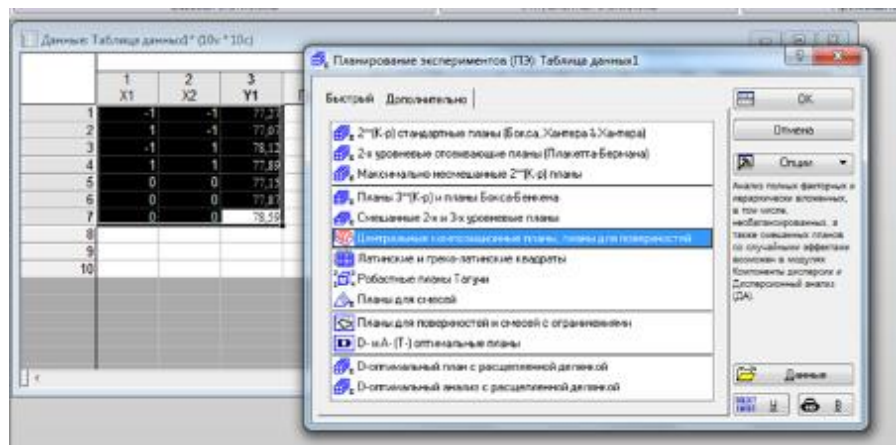


Рис. 5.2. Вибір центрального рототабельного композиційного планування

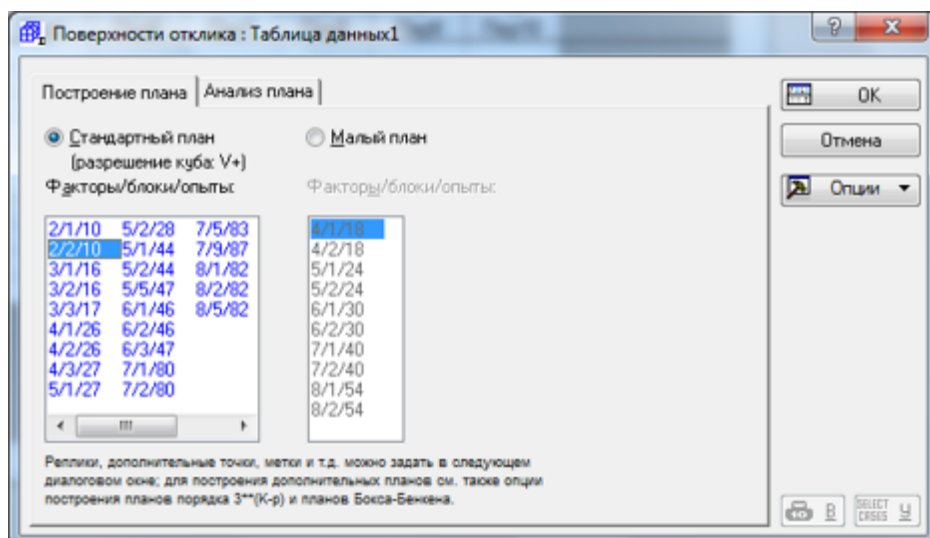


Рис. 5.3. Вибір типу планування

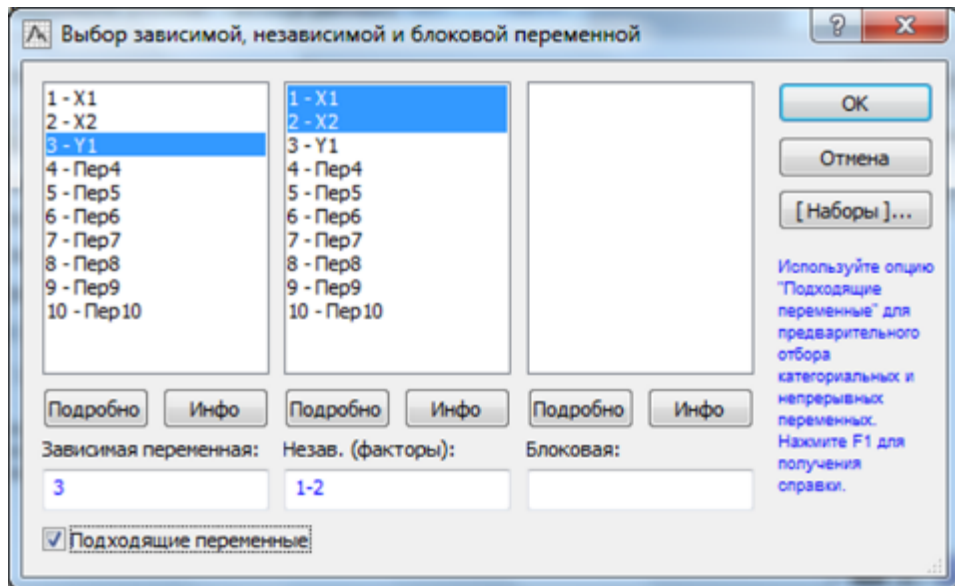


Рис. 5.4. Вибір залежного та незалежного факторів

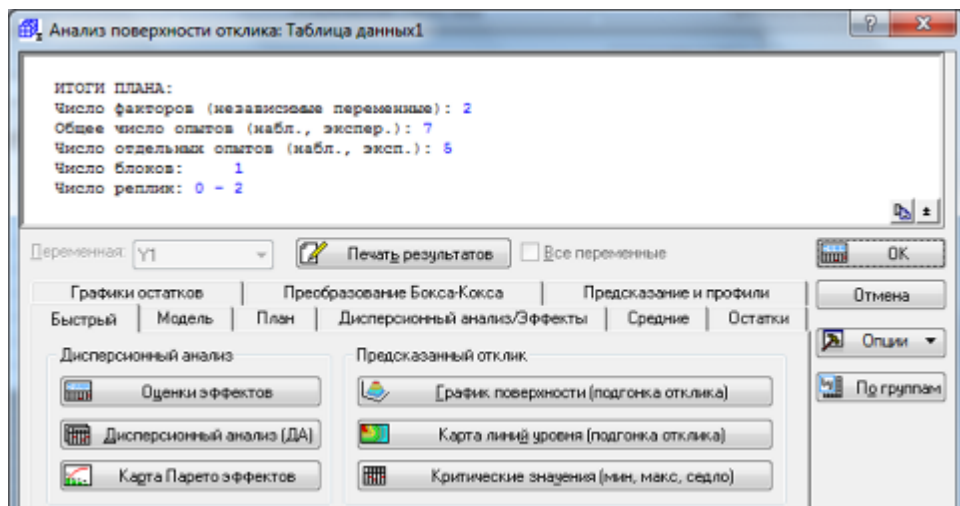


Рис. 5.5. Аналіз поверхні відгуку

Фактор	Эффект	Ст.Ош.	t(2)	p	-95, %		Козф.	Ст.Ош. Козф.	+95, %	
					Дов.Пред	Дов.Пред			Дов.Пред	Дов.Пред
Сред/Св.член	77,87000	0,415692	187,3261	0,000028	76,08142	79,65858	77,87000	0,415692	76,08142	79,65858
(1)X1(L)	-0,21500	0,720000	-0,2986	0,793405	-3,31291	2,88291	-0,10750	0,360000	-1,65645	1,44145
X1(K)	-0,56500	1,099818	-0,5137	0,658573	-5,29714	4,16714	-0,28250	0,549909	-2,64857	2,08357
(2)X2(L)	0,83500	0,720000	1,1597	0,365898	-2,26291	3,93291	0,41750	0,360000	-1,13145	1,96645
1L на 2L	-0,01500	0,720000	-0,0208	0,985270	-3,11291	3,08291	-0,00750	0,360000	-1,55645	1,54145

Рис. 5.6. Оцінка ефектів

Оцінка ефектів поверхні відгуку полягає у визначенні коефіцієнтів при незалежних факторах експерименту в рівнянні регресії. Згідно обчислень рівняння 5.1 приймає наступний вигляд:

$$Y = 77,87 - 0,565 \cdot (x_1)^2 - 0,215 \cdot x_1 + 0,835 \cdot x_2 - 0,015(x_1 \cdot x_2) \quad (5.3)$$

де x_1 – кодоване значення фактору варіювання – розподільна здатність;

x_2 – кодоване значення фактору варіювання – площа зони оцінювання.

Для перевірки адекватності отриманої моделі проведений дисперсійний аналіз (рис. 5.7) і оцінка за критерієм Парето (рис. 5.8), які вказують, що з ймовірністю 95 % коефіцієнти у рівнянні регресії 5.3 у різній мірі статистично незначимі.

Дисперсионный анализ; Прм.: Y1; R-кв. = ,45924; Скоп. 2 факторы, 1 Блоки; Остаточн. SS=,5184 ЗП Y1					
Фактор	SS	сс	MS	F	p
(1)X1(L)	0,046225	1	0,046225	0,089169	0,793405
X1(K)	0,136811	1	0,136811	0,263910	0,658573
(2)X2(L)	0,697225	1	0,697225	1,344956	0,365898
1L на 2L	0,000225	1	0,000225	0,000434	0,985270
Ошибка	1,036800	2	0,518400		
Общая SS	1,917286	6			

Рис. 5.7. Дисперсійний аналіз

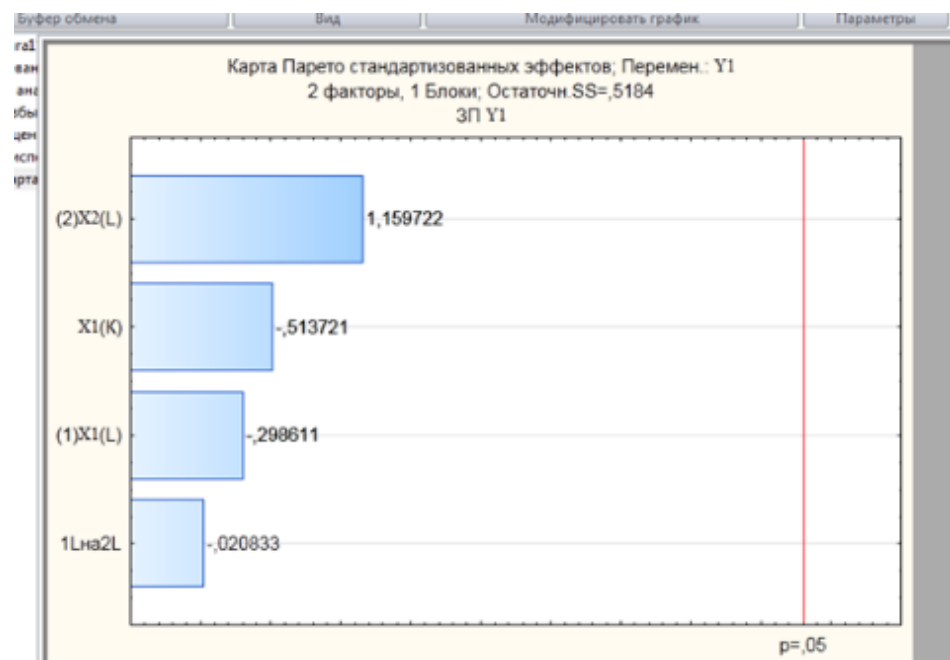


Рис. 5.8. Карта Парето стандартизованих ефектів

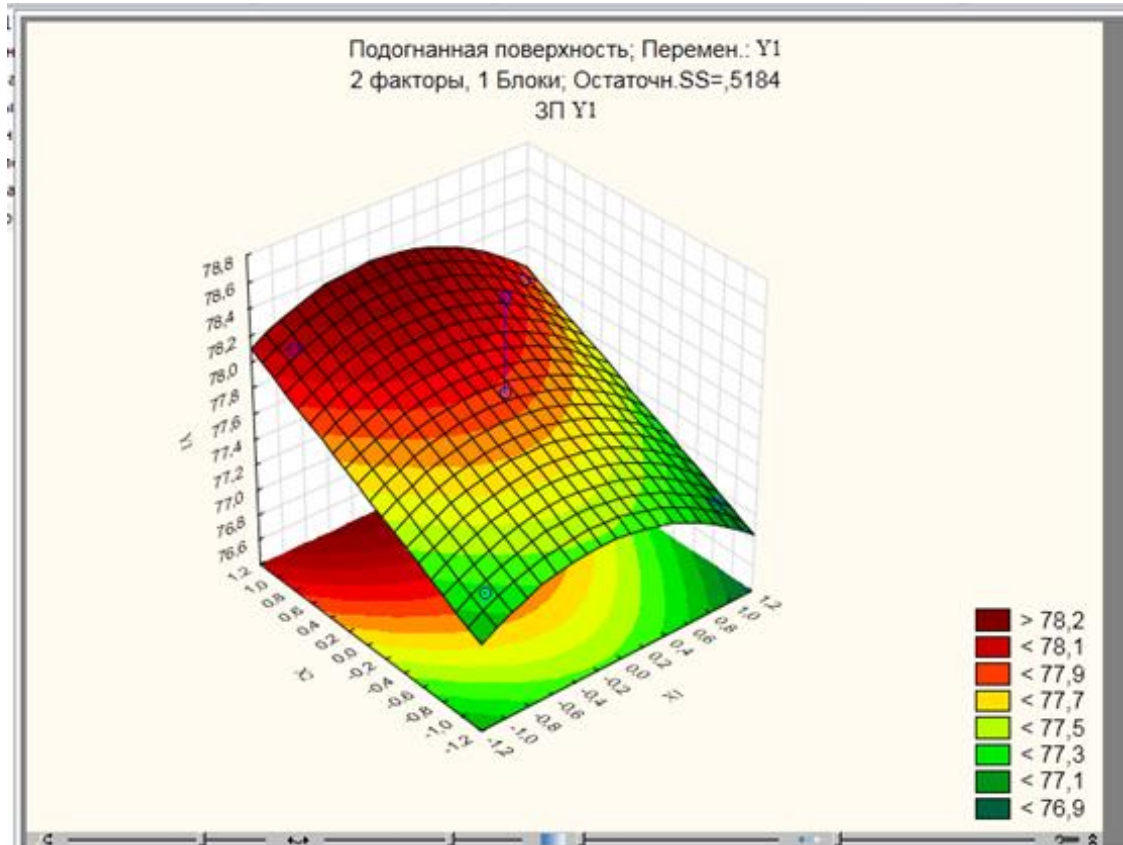


Рис. 5.9. Поверхня відгуку

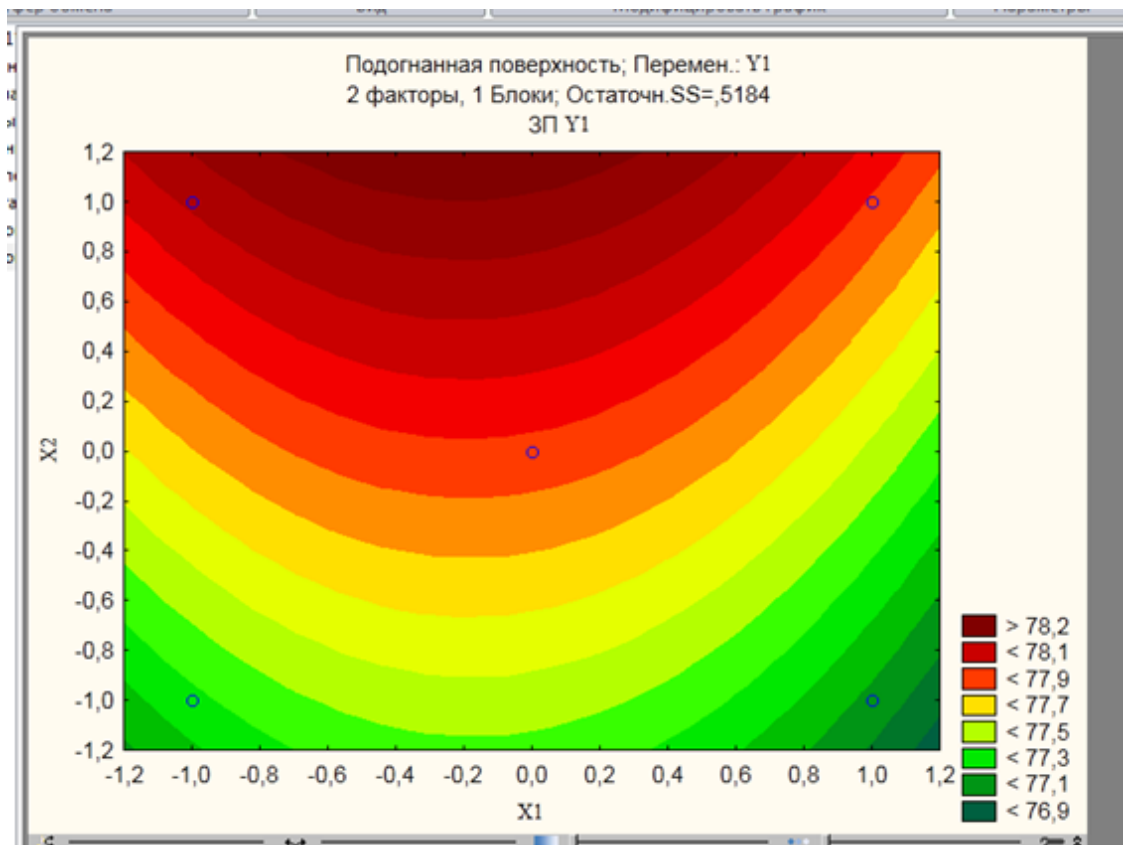


Рис. 5.10. Проекція поверхні відгуку на факторний простір

5.3 Висновки по розділу

Отримані рівняння регресії та поверхня відгуку вказують на переважний вплив фактору розміру площі оцінювання, у меншій мірі фактору розподільної здатності та незначний вплив сумісної взаємодії обох факторів варіювання.

Обрана модель адекватна нормальному розподілу, а статистична незначимість коефіцієнтів у рівнянні регресії на сталість параметру оптимізації у межах статистичної невизначеності до 1,5 % у рамках всього факторного простору.

Різноспрямованість знаків при коефіцієнтах рівняння регресії та їх значення свідчить про певний баланс системи. У методичному плані це означає, що фактори варіювання (налаштування обладнання) треба обирати біля середніх значень.

ВИСНОВКИ

1. Сформульовані положення методики визначення пористості хлібо-булочних виробів з використанням аналізу електронно-оптичного зразка хлібо-булочного виробу.

2. Проведена метрологічна оцінка існуючого методу визначення пористості хліба по ДСТУ 7045:2009 показала на значний рівень невизначеності (похибки) методу в межах від $\pm 4,5$ % до ± 42 % у термінах відносної похибки, що значно перевищує рекомендовані у нормативному документі.

3. Проведена метрологічна оцінка методу сканування зразків хліба показала на рівень невизначеності (похибки) методу в межах від $\pm 1,40$ % до $\pm 13,10$ %.

4. Окреслені перспективні напрями використання методу сканування зразків: наукові дослідження, визначення пористості штучних виробів з невеликою вагою та лінійними розмірами.

5. Положення роботи пройшли апробацію на Міжнародному науковому і практичному форумі у 2024 році [25].

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Технологія виробництва хліба. [Текст] Режим доступу <https://foodtechnology.pro/tehnologiya-virobnitstva-hliba>.
2. Технологія приготування хліба [Текст] Режим доступу <https://uk.wikipedia.org/wiki>.
3. ДСТУ 7045:2009. Вироби хлібобулочні. Методи визначення фізико-хімічних показників. [Чин.01.01.10]. - К.: Держспоживстандарт України, 2009. – 33 с.
4. Види пористості [Текст] Режим доступу http://ni.biz.ua/3/3_9/3_90632_vidi-poristosti.html
5. Функціоналізовані пористі матеріали для аналітичної хімії/ В.М. Зайцев., Л.І. Савранський – Київ : ВПЦ КНУ імені Тараса Шевченка, 2005. – 202 с. – ISBN 966-03-0792-6.
6. Ртутна порометрія [Головна](#) » [Металообробка](#) » [Контроль якості робіт](#) » Контроль пористості покриття / Режим доступу <https://obrobka.pp.ua/2058-kontrol-poristost-pokrittya.html>
7. Низько температурна адсорбція Високоєфективні аналізатори питомої поверхні та пористості JWGB 400. [Текст] Режим доступу <https://novations.ua/vysokoefektyvn%D1%96-analizatory-pitomoi-ploshchi-poverhni-ta-poristosti-jwgb-400/>
8. Методи вимірювання густини. Стаття. [Текст] Режим доступу https://wiki.tntu.edu.ua/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%B8_%D0%B2%D0%B8%D0%BC%D1%96%D1%80%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F_%D0%B3%D1%83%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BD%D0%B8
9. Кузьменко Т.М. Оцінювання невизначеності вимірювань лінійних розмірів при вимірюванні деталей точної механіки у випробувальних лабораторіях / Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки Том 32 (71) Ч. 2 № 2 2021. С.7-12.

10. ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019 Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій (EN ISO/IEC 17025:2017, IDT; ISO/IEC 17025:2017, IDT) . [Чин.01.01.21]. - К.: Держспоживстандарт України, 2019. – 40 с.

11. Guide to the Expression of the Uncertainty in Measurement-Geneva :ISO, 1993. 101 p; First Edition – ISO, Switzerland, 1993. 101 p.

12. ДСТУ РМГ 43:2006. Застосування «Керівництва з оцінки невизначеності».

13. Коцюба А.М. Оцінювання невизначеності вимірювання за результатами контрольних вимірювань з використанням стандартних зразків. URL: <http://www.hups/mil/gov/ua/periodic-app/article/5775/sol2007>.

14. Блог. Статті. Метрологічні характеристики ваг: Похибка, Дискретність та Класи точності [Текст] Режим доступу <https://ves.com.ua/uk/metrolohichni-kharakterystyky-vah>

15. Борисенко, Є. А. Аналіз похибки вимірювання ваги та шляхи її зменшення / Є. А. Борисенко, Р. О. Кондратенко / ISSN 2222-2944. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я. 2019. Ч. II. С. 11.

16. АНАЛИТ ПРИЛАД. Ваговимірювальна техніка. Ваги 4 клас точності [Текст] Режим доступу <https://analit-pribor.com.ua/uk/catalog/chetvertui-klass-tochnosti-uk/>

17. Дітріх, І. В. Інноваційний метод визначення пористості гарячої солодкої страви суфле «Дитяча насолода» / І. В. Дітріх, В. М. Михайленко, О. О. Петруша // Якість і безпека харчових продуктів : III Міжнародна науково-практична конференція, 16-17 листопада 2017 р. – К. : НУХТ, 2017. - С. 138–139.

18. Instrumental Measurement of Bread Crumb Grain by Digital Image Analysis / H.D. Sapirstein, R. Roller, W. Bushuk / Analytical techniques and instrumentation. - vol. 71. -№ (4). - 1994. - p. 383-391.

19. ImageJ for microscopy / Tony J. Collins // BioTechniques 43:S25-S30 (July 2007) – p 25.

20. Нетрадиційний спосіб визначення пористості харчових продуктів / Л.Ю. Арсеньєва, О. О. Петруша, О. А. Дацинська // Якість і безпека харчових продуктів: тези доп. II Міжнар. наук.-практ. конф., 12-13 листопада 2015 р. / Національний університет харчових технологій ; М-во освіти і науки України. — К. : НУХТ, 2015. — С. 294-295.

21. Кузнєцов, Ю.М. / Теорія технічних систем. / Ю.М. Кузнєцов, І.В. Луців, С.А. Дубиняк // Навчальний посібник. – К.: ТДТУ. – 310 с.

22. Гліненко, Л.К. / Основи моделювання технічних систем. / Л.К. Гліненко, О.Г Сухоносів // Навч. посібник. – Львів: Видавництво «Бескид Біт», – 2003. – 176 с.

23. Радченко, С.Г. / Математичне моделювання та оптимізація технологічних систем. / С.Г. Радченко // Навчально-методичний посібник. – К.: Політехніка, 2002. – 88 с.

24. Пасов, Г. В. / Математичні методи в проектуванні технічних систем/ Г. В. Пасов, О.М. Чередніков // навч. посіб. – Чернігів: ЧДТУ, 2010. – 334с.

25. Леоненко Ю.А., Корольов О.О. Оцінка методів визначення пористості хліба. Основні цілі стратегії сталого розвитку. Проблеми та перспективи: 2024 рік : матер. I Міжнар. наук.-практ. Форуму, 26 вер. 2024 р. Полтава: ПНПУ ім. В.Г. Короленка, 2024. С.542-544.

ОЦІНКА МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ПОРИСТОСТІ ХЛІБА**Леоненко Ю.А., Корольов О.О.***Національний університет "Чернігівський колегіум" імені Т.Г. Шевченка**a4461461@online.ua*

Метою роботи були пошук та обґрунтування ефективного та точного методу вимірювання локальної та загальної пористості хліба та хлібо-булочних виробів.

Актуальність проблеми полягає у декількох аспектах. Наявність у існуючому методі визначенні пористості хліба необхідності виконання послідовних операцій формування партії, виділення зразків та вимірювання маси тісно пов'язано з експериментатором, тому похибки, що привносить людина поступово накопичуються. Зменшення впливу суб'єктивного фактору підвищить адекватність кінцевої оцінки.

Виділення зразків для формування одиничної проби при визначенні пористості хліба, а у деяких випадках одиничний зразок може складатися з декількох частин, дозволяє отримати дуже узагальнену оцінку стану пористості по всьому тілу хлібини. Сучасні технології передбачають можливість різноманітних варіантів підведення тепла у процесі випікання, що зумовлює наявність локальних осередків з різною пористістю. Дослідження пористості у цих осередках, з наукової точки зору, дозволить більш ретельно визначити ступінь впливу технологічних факторів на кінцевий результат.

За *методикою* ДСТУ 7045:2009 [1] відбирали зразки з 3 хлібин хліба пшеничного «Сімейного» до досягнення статистично значимої вибірки з 3 зразків. Як видно з рисунка 1 форма зразків, які згруповані по 3 штуки, значно відрізняються і мають характерно виражені вади форми, що має характер несистематичної випадкової похибки у подальшому призводить до значної розбіжності кінцевого результату.



Рис.1. Зовнішній вид зразків двох різних проб

Пористість хліба методом сканування. Зразки хліба для подальшого сканування відбирались одночасно з зразками за методом ДСТУ 7045:2009 у поперечному напрямі завтовшки (2–3) мм. Зовнішній вигляд зразка представлений на рисунку 2.



Рис.2. Зразок хліба для сканування

Далі зразок сканували за певних налаштувань сканера, виокремлювали зону оцінювання пористості хліба і апаратними методами пакета програми PAINT.NET визначали пористість зразків (рис. 3).

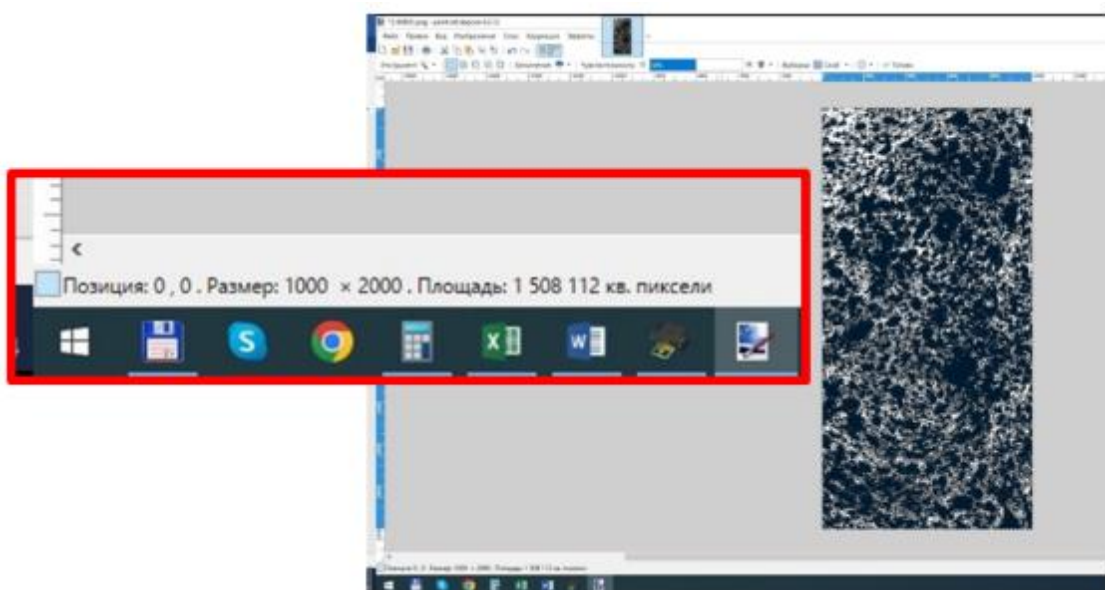


Рис. 3. Вид зони оцінювання та результати обрахунків

Одержані *результати* показали на можливість і перспективність визначення пористості хлібо-булочних виробів, заснованому на аналізі чорно-білого цифрового відбитка поверхні зрізу. Такий відбиток можна отримати практично за допомогою будь-якого офісного приладу для сканування та персонального комп'ютера, використання спеціалізованих програм для обробки зображення не потрібно.

Враховуючи неістотні відмінності у часі процесу сканування, доцільніше проводити процес за максимально можливих налаштувань розподільної здатності. Для підвищення статистичної значимості кількість зразків збільшити до 3-5 штук. Можливість довільно обирати місце та площу ділянки для аналізу дозволяє визначати локальну пористість у будь-якому місці зрізу м'якушки. Товщина зразка принципового значення не має і обмежується фізико-механічними властивостями м'якушки. Загальна площа зразка обмежена габаритами робочої зони сканера. Зріз повинен бути виконаний за один ріжучий рух, відхилення від площинності зрізу не більше $(0,5 \pm 0,1)$ мм.

Необхідність врахування складу виробу прибирається. Здатність методу не обмежується масою та об'ємом виробу, дослідження можна проводити у будь-якому перерізі/перерізах виробу.

Статистична обробка результатів показали, що відносна похибка вимірювання пористості хліба обрахована за методикою ДСТУ 7045:2009 становить від $\pm 5,00$ % до $\pm 36,13$ %, для методу сканування відносна похибка коливалась у межах від $\pm 1,40$ % до $\pm 13,10$ %.

Серед *висновків* роботи можна вказати на перевагах методу сканування при визначенні пористості хліба, які відносяться до більшої точності методу та можливості оцінювання пористості дрібних виробів, виробів з твердою (пряник) або надто м'якою (вологодом) структурою, локальної пористості у будь-якому місці тіла хлібини.

1. ДСТУ 7045:2009. Вироби хлібобулочні. Методи визначення фізико-хімічних показників. [Чин.01.01.10]. - К.: Держспоживстандарт України, 2009. – 33 с.



CERTIFICATE

Юрiю ЛЕОНЕНКО

*For participation in 1st the International
Scientific and Practical Forum*

**«MAIN GOALS OF THE SUSTAINABLE
DEVELOPMENT STRATEGY:
PROBLEMS AND PROSPECTS»**

amount: 10 hours / 0.3 ECTS credits

Recto



Maryna GRYNova

September 26, 2024

Poltava