

РАЦІОНАЛЬНІ ПІДХОДИ ДО ВИЗНАЧАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕРМІНІВ
БЕЗПЕЧНОГО ЗБЕРІГАННЯ ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ

*Вербицький С. Б.¹, к.т.н., зав. відділу інформаційного забезпечення,
інноваційного провайдингу, стандартизації та метрології*
<https://orcid.org/0000-0002-4211-3789>

*Науменко О. В.¹, д.т.н., проф., зав. відділу технологій хліба
та біотрансформації зернових продуктів*
<https://orcid.org/0000-0002-1691-1381>

Соломон А. М.², к.т.н., доц., зав. кафедри біоінженерії, біо- та харчових технологій
<https://orcid.org/0000-0003-2982-302X>

*Пацера Н. М.¹, заст. зав. відділу інформаційного забезпечення,
інноваційного провайдингу, стандартизації та метрології*
<https://orcid.org/0000-0001-8737-9997>

Чиж В. М.¹, аспірантка
<https://orcid.org/0000-0001-9488-4385>

¹Інститут продовольчих ресурсів НААН, м. Київ, Україна

²Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця, Україна

<https://doi.org/10.31073/foodresources2025-25-20>

Предмет. Умови та терміни безпечного зберігання хлібобулочних виробів. **Мета.** Вивчення шляхів безпечного зберігання хлібобулочних виробів та наукового прогнозування його термінів, оцінювання методів безпосереднього та прискореного оцінювання перебігу зберігання хлібобулочних і використання з цією метою методів математичного моделювання. **Методи.** Загальні підходи до зберігання харчових продуктів на основі їхньої харчової безпеки, технологічної ефективності та логістичної прийнятності, а також раціональні методи прогнозування допустимих термінів зберігання є предметом цієї статті, а також оцінювання застосування зазначених знань до зберігання хлібобулочних виробів. З метою виконуваних досліджень застосовували доцільні математичні методи вивчення показників якості хлібобулочних виробів і прогнозування їх безпечного зберігання. Для виконання досліджень системний підхід до фактологічних матеріалів, зокрема до наукової та науково-практичної літератури, абстрактно-логічний підхід щодо узагальнення результатів дослідження та формулювання висновків. **Результати.** На якість і безпеку хлібобулочних виробів під час зберігання впливають такі фактори, як температура зберігання, ефективність і надійність пакування, рівень вологості, мікробіологічна чистота. Для прогнозування термінів придатності хлібобулочних виробів використовують математичне моделювання та експериментальний аналіз. Математичне моделювання охоплює кінетичні моделі, за допомогою яких можна прогнозувати динаміку змін якості продуктів під час зберігання. Використовуючи повний факторний експеримент, можливо оцінити вплив окремих факторів і їх поєднань на термін придатності. Використання сучасних технологій пакування, математичного моделювання для прогнозування термінів придатності та підтримання оптимальних умов зберігання є основними рекомендаціями для забезпечення високої якості та безпеки хлібобулочних виробів. Ці методи спрямовані на підвищення ефективності харчової безпеки та збереження ресурсів у сільському господарстві та переробній промисловості. **Сфера застосування результатів.** Отримані наукові данні може бути використано для організації досліджень перебігу зберігання хлібобулочних виробів, наукового прогнозування його термінів тощо.

Ключові слова: хлібобулочні вироби, безпечне зберігання, прогнозування термінів зберігання, прогнозування термінів зберігання, органолептичне аналізування, мікробіологічне аналізування

RATIONAL APPROACHES TO DETERMINING AND FORECASTING THE SAFE STORAGE
PERIODS OF BAKERY PRODUCTS

*Sergii Verbytskyi¹, PhD, Engineering, Head of Department of Informational
Support, Innovative Providing, Standardization and Metrology*
<https://orcid.org/0000-0002-4211-3789>

Oksana Naumenko¹, D-r of Sc., Engineering, Professor,
Head of Department of bread technologies and biotransformation of grain products
<https://orcid.org/0000-0002-1691-1381>

Alla Solomon², PhD, Engineering, Associate Professor,
Department of Bioengineering, Bio- and Food Technologies
<https://orcid.org/0000-0003-2982-302X>

Nataliia Patsera¹, Dep. Head of Department of Informational Support,
Innovative Providing, Standardization and Metrology
<https://orcid.org/0000-0001-8737-9997>

Valentyna Chyzh¹, Postgraduate
<https://orcid.org/0000-0001-9488-4385>

¹Institute of Food Resources of NAAS, Kyiv, Ukraine

²Vinnitsia National Agrarian University, Vinnitsia, Ukraine

Subject. Conditions and periods of safe storage of bakery products. **Purpose.** Study of ways of safe storage of bakery products and scientific forecasting of their shelf life, evaluation of methods of direct and accelerated assessment of the storage course of bakery products and the use of mathematical modeling methods for this purpose. **Methods.** General approaches to food storage based on food safety, technological efficiency, and logistical acceptability, as well as rational methods for predicting acceptable shelf life, are the subject of this article, along with an assessment of the application of this knowledge to the storage of bakery products. For the purposes of this research, appropriate mathematical methods were used to study bakery product quality indicators and predict their safe storage. A systematic approach to factual materials, particularly scientific and practical literature, and an abstract logical approach to summarizing research results and formulating conclusions were employed. **Results.** The quality and safety of bakery products during storage are affected by factors such as storage temperature, packaging efficiency and reliability, humidity levels, and microbiological purity. Mathematical modeling and experimental analysis are used to predict the shelf life of bakery products. Mathematical modeling utilizes kinetic models to predict the dynamics of product quality changes during storage. Using a full factorial experiment, the impact of individual factors and their combinations on shelf life can be assessed. The use of modern packaging technologies, mathematical modeling for shelf life prediction, and maintaining optimal storage conditions are key recommendations for ensuring the high quality and safety of bakery products. These methods are aimed at improving food security and conserving resources in agriculture and the processing industry. **Scope of results.** The obtained scientific data can be used to conduct research on the storage of bakery products, scientifically predict shelf life, etc.

Key words: bakery products, safe storage, shelf life prediction, mathematical modeling, sensory analysis, microbiological analysis

Постановка проблеми. Зберігання харчових продуктів означає збереження придатності до споживання впродовж певного терміну та постачання споживачам зазначених продуктів з використанням різних матеріалів та технологій – традиційних або інноваційних [1–3]. У зазначеному сенсі важливим є термін придатності як характеристика перебігу процесу зберігання хлібобулочних виробів, а інформація щодо терміну придатності є необхідною для споживачів та операторів ринку [2–5]. Термін придатності харчових продуктів безпосередньо впливає на якість, оскільки зберігання впродовж певного періоду часу може також вплинути на важливі характеристики – мікробіологічні, фізико-хімічні, органолептичні тощо. Дещо спрощуючи, можна констатувати, що якість харчових, зокрема, хлібобулочних виробів є тим, що споживачі зазвичай оцінюють за рівнем свіжості, смаку та зовнішнього вигляду. Отже, дослідження, пов'язані з визначанням придатності харчових продуктів до зберігання та науковим прогнозуванням терміну придатності мають важливе значення для збереження життя та здоров'я споживачів [2, 6–8].

Період часу, впродовж якого вони можуть залишатися в корисному, придатному для споживання стані та зберігати прийнятну якість за нормальних, очікуваних умов дистрибуції та зберігання, визначають як термін придатності харчового продукту. Показники якості можуть стосуватися зовнішнього вигляду, запаху, смаку, кольору, текстури, мікробіологічних показників, поживних властивостей тощо. Принципові чинники якості

можуть змінюватися з однаковою або різною швидкістю впродовж терміну придатності, залишаючись у межах прийняттого або не досягаючи меж якості, поза якими вони досягають стану, небезпечного для здоров'я та життя споживачів. Прийнятність меж цих чинників для харчових, зокрема хлібобулочних, виробів можна визначити емпірично і ретельно відслідковувати, оцінюючи терміни придатності із достатньою точністю. Деякі хлібобулочні вироби є такими, що швидко псуються, тому вони вимагають зниженої температури для продовження періоду зберігання [9].

Зберігання продуктів харчування – один із способів збереження харчових продуктів для споживання у певний необхідний час або у надзвичайній ситуації [10]. Досить короткий термін зберігання є одним з основних обмежень для комерціалізації низки видів хлібобулочних виробів [2]. Водночас, збереження хлібобулочних виробів включає різні етапи їхнього оброблення для підтримання якості на бажаному рівні для досягнення максимальної користі і харчової цінності [2, 11]. Процес зберігання хлібобулочних виробів може здійснюватися різними способами, у процесі зберігання одним із важливих факторів є забезпечення стабільності хлібобулочних виробів і збереження їхньої якості, яка оже погіршитися через вплив кисню, світла, водяної пари, мікроорганізмів та токсичних хімікатів у них. Ці фактори можуть спричинити подальше погіршення якості, наприклад, зміну смаку та запаху, небажану зміну органолептичних властивостей та ін. Отже, зберігання є чинником безпечності хлібобулочних виробів, які, з огляду на певні обставини або цілі, повинні зберігатися протягом деякого часу перед дистрибуцією. Для всіх харчових продуктів зберігання пов'язане з проблемою часу, оскільки впродовж певного періоду можуть відбутися суттєві зміни властивостей. Бажаним є продовження терміну придатності на основі вибору найбільш прийнятних технологій виробництва [2, 12]. У цілому, термін придатності є пороговою точкою, в якій з харчовим продуктом відбуваються критичні зміни, також зниження якості хлібобулочних виробів може відбуватися під час дистрибуції та зберігання. доти, доки вони не будуть готові до вживання. Неможливо домогтися продовження терміну придатності харчових продуктів, якщо фактори, що впливають на термін придатності, не є відомими. Три чинники, які впливають на термін придатності хлібобулочних виробів: власне, характеристики хлібобулочних виробів, навколишні умови під час дистрибуції та зберігання, а також використовувані пакувальні методи і матеріали. Термін придатності можна продовжити шляхом підвищення якості та уповільнення швидкості псування. Покращення початкової якості або оброблення в процесі зберігання може подовжити термін придатності хлібобулочних виробів [2].

Визначання здатності хлібобулочних виробів до зберігання є складним, проте важливим, теоретичним і практичним завданням. Для всіх хлібобулочних виробів мають місце численні відмінності у складі та властивостях сировини, упаковці, а також засобах реалізації. Виробники, дистриб'ютори, торгівля, органи контролю та споживачі у повній мірі зацікавлені в оптимізації термінів зберігання хлібобулочних виробів. Втім, певні відмінності у поглядах цих зацікавлених сторін у поєднанні із суб'єктивним ставленням до якості хлібобулочних виробів є причиною відсутності єдиного підходу до визначання харчової цінності протягом усього терміну придатності зазначених виробів [9, 13]. Науково обґрунтовані та об'єктивно прогнозовані терміни зберігання хлібобулочних виробів є критично важливими для планування виробництва та реалізації, у тому числі розмірів партій та їх розподіл за датами, маршрутизація транспортних потоків, а також управління запасами [13, 14]. Способи визначання терміну придатності, залежать від багатьох чинників – головне, від типу продукту і температури. Визначання терміну придатності нових або традиційних продуктів, виготовлених новими способами, вимагає ретельних досліджень на етапі їхнього розроблення та складення відповідної нормативної або технологічної документації. У процесі визначання терміну придатності повинні генеруватися відомості, які чітко визначають тривалість періоду, впродовж якого хлібобулочні перебувають в придатному для споживання стані за очікуваних умов зберігання з використанням узгоджених методів та критеріїв прийнятності [13, 14].

Належне наукове обґрунтування способів прогнозування зберігання хлібобулочних виробів необхідно здійснювати, виходячи з критеріїв харчової безпеки, мінімізації втрат харчової цінності, оптимізації виробничих програм, логістики постачання тощо [15]. Це сприяє подальшому вдосконаленню техніко-технологічних засад мінімізації псування хлібобулочних виробів у процесі їхнього зберігання та втрат харчової цінності цих продуктів, є важливим внеском у досягнення належного рівня продовольчої безпеки та ресурсозбереження в агропромисловому комплексі. Результати аналізу теорії та практики визначання та науково обґрунтованого прогнозування псування, а також збереження/втрати поживної цінності, основних груп хлібобулочних виробів у процесі їх зберігання відповідно до сучасних вимог харчової безпеки та ресурсозбереження дозволяють говорити про наявність низки факторів, що не забезпечують належної відповідності зазначеним вимогам. Це, зокрема:

- превалювання емпіричних підходів до визначення та прогнозування термінів безпечного зберігання;

- недостатнє розуміння важливості збереження поживної цінності хлібобулочних виробів як важливого фактора ресурсозбереження та одного з технічних критеріїв гарантування продовольчої безпеки;

- відсутність наукової та науково-технічної інформації за абсолютними показниками та динамікою поживної цінності основних груп хлібобулочних виробів;

- відсутність науково обґрунтованих та прийнятних для практичного використання методів визначення та прогнозування термінів безпечного зберігання хлібобулочних виробів.

Метою роботи є вивчення шляхів безпечного зберігання хлібобулочних виробів та наукового прогнозування його термінів, оцінювання методів безпосереднього та прискореного оцінювання перебігу зберігання хлібобулочних і використання з цією метою методів математичного моделювання.

Матеріали та методи дослідження. Загальні підходи до зберігання харчових продуктів на основі їхньої харчової безпеки, технологічної ефективності та логістичної прийнятності, а також раціональні методи прогнозування допустимих термінів зберігання є предметом цієї статті, а також оцінювання застосування зазначених знань до зберігання хлібобулочних виробів. З метою виконуваних досліджень застосовували доцільні математичні методи вивчення показників якості хлібобулочних виробів і прогнозування їх безпечного зберігання. Для виконання досліджень системний підхід до фактологічних матеріалів, зокрема до наукової та науково-практичної літератури, абстрактно-логічний підхід щодо узагальнення результатів дослідження та формулювання висновків.

Результати та обговорення.

Динамічне визначання терміну придатності хлібобулочних виробів є можливим лише за умови врахування низки чинників. Це внутрішні чинники: фізичні, хімічні, біохімічні та мікробіологічні забруднення та зовнішні: клімат, екологія, методи ведення сільського господарства, умови зберігання та реалізації, а також взаємодія з людьми. Визначання дійсного терміну придатності практично неможливо здійснити заздалегідь шляхом лабораторного оцінювання, тому потрібне визначання впливу зовнішніх факторів. Концепт кінетики втрати якості було введено як низку чинників, що діють при зберіганні та реалізації, як от: моделі росту, відновлення та загибелі мікроорганізмів (мікробіологічний прогноз); фізичні характеристики (наприклад, текстура та колір); хімічні та біохімічні параметри, що впливають на особливості харчування, токсикологічні фактори тощо [16].

Процеси псування харчових продуктів можна розділити на фізичні (структурно-механічні), хімічні та мікробіологічні, між якими існує кореляційний зв'язок – в більшості випадків, тією чи іншою мірою, наявні всі три види псування, що пов'язані між собою за законами нелінійної залежності та чинять взаємний вплив. На тривалість зберігання та псування впливають температура, рН, активність води, наявність кисню, інтенсивність світлового потоку, різноманітність та властивості інгредієнтів, а також продукти їхнього розпаду [17].

Відомі засоби математичного моделювання дозволяють прогнозувати стан певного харчового продукту в процесі зберігання у стандартних умовах, використовуючи результати, отримані під час зберігання в екстремальних умовах. Зазначена концепція базується на вивченні механізму та кінетики процесів, що визначають погіршення якості випробування об'єкта у процесі зберігання. Отже, для різних хлібобулочних виробів можна використовувати методи математичного моделювання, зокрема, побудови та оцінки якості регресійної моделі на підставі математичного планування та обробки результатів активного експерименту [13].

Використовувані наразі математичні моделі прогнозування процесів зберігання хлібобулочних виробів часто інтегровані у загальніші моделі якості [18–20]. Моделі показників якості мають на меті розуміння, прогнозування та контролювання процесів в період зберігання та реалізації хлібобулочних виробів [21]. Різниця в моделях полягає у системах, що їх визначають – у цьому випадку передбачається, що граничні умови, механізми перенесення та фізичні властивості змінюватимуться у процесі зберігання [20, 22]. У цьому сенсі слід розуміти, що кінетичне моделювання має на увазі, що зміни можуть бути описані в математичних моделях за допомогою кінетичних параметрів, таких як активація енергії та константи швидкості [20, 21]. Моделі прогнозування якості хлібобулочних виробів з інтегрованими в них параметрами визначення здатності наведені, наприклад, у [19, 20, 23].

Можливий підхід до математичного моделювання якості та збереження здатності хлібобулочних виробів обґрунтовано у [18], де зазначено, що адекватна модель псування хлібобулочних виробів повинна включати залежні (пов'язані) між собою показники $y(t)$, що змінюються у часі та впливають на тривалість зберігання, а також незалежні фактори, що характеризують його умови. Автори [18] пропонують записати таку модель у вигляді диференціального рівняння другого порядку:

$$-m_i \frac{d^2}{dt^2} y(t) + a_i \frac{d}{dt} y(t) + T_i \frac{d}{dt} y(t) + k_i y(t) = 0 \quad (1)$$

де: m_i – приведена маса i -го показника або групи однорідних показників;

a_i – показниковий коефіцієнт, що враховує зв'язок одного або декількох однорідних показників між собою (накопичення шкідливих речовин, мікроорганізмів, зміни структурно-механічних властивостей);

T_i – факторний коефіцієнт, який враховує умови зберігання та їхній зв'язок зі швидкістю накопичення речовин;

k_i – приведена кінетична константа, що уточнює модель.

Оскільки інтенсивне псування багатьох хлібобулочних виробів обумовлене меншою кількістю факторів і більшою швидкістю впливу на безпечність та якість, кінетичну модель можна спростити, записавши її у вигляді диференційного рівняння [18]. Спрощена модель має вигляд:

$$-m_i \frac{d^2}{dt^2} y(t) + a_i \frac{d}{dt} y(t) = 0 \quad (2)$$

Після диференціювання вираз для визначання швидкості псування харчового продукту набуває такого вигляду:

$$\frac{d}{dt} y(t) = V_{oy} e^{\frac{a_i t}{m_i}} \quad (3)$$

У [18] зазначено, що диференціальні рівняння другого порядку повніше за будь-які інші відомі рівняння менших порядків, розкривають динаміку накопичення речовин (у тому числі шкідливих), або зміни структурно-механічних властивостей у процесі зберігання хлібобулочних виробів. Хоча вищеописаний спосіб успішно застосовується для вирішення локальних завдань визначання якості та придатності хлібобулочних виробів до зберігання, практичне визначення використовуваних у формулі (3) коефіцієнтів може становити істотну складність.

Метод факторного експерименту також практикують для визначання якості та придатності хлібобулочних виробів для зберігання через поодинокі та групові показники органолептичних властивостей (зовнішній вигляд, консистенція, колір, смак, запах і т.д.), фізико-хімічні показники, показники біологічної цінності. (вміст вітамінів та ін). Наприклад, оцінювання якості харчового продукту у [19] здійснювали згідно з наступним алгоритмом:

1. Розрахунок комплексних показників якості з допомогою методу основних компонент.

2. Моделювання комплексних показників якості залежно від етапів життєвого циклу та температурного режиму за допомогою рівнянь регресії.

3. Оцінка якості рівнянь регресії.

Комплексний показник – це оцінка органолептичних, фізико-хімічних показників та показників біологічної цінності на основі факторного аналізу за методом основних компонентів. Аналіз дозволяє розділити масив змінних на малу кількість груп, які називаються факторами.

Дійсні обмеження терміну придатності можна встановити за допомогою науково прийнятих методів [9, 24]. Розроблення нових технологій для продовження терміну придатності включає технологію виробництва та пакування, склад хлібобулочних виробів тощо. Подовження терміну придатності стало метою багатьох виробників хлібобулочних виробів, щоб полегшити деякі з раніше обговорюваних проблем щодо виробництва та дистрибуції [9]. Зазвичай термін придатності так званих продуктів з «чистою етикеткою» не є настільки великим, наскільки це можливо у разі використання традиційних консервантів. Необхідно вивчати ці харчові продукти та піддавати їх випробуванням у найгірших умовах оброблення, пакування, зберігання та використання, доводячи, що вони збережуть свій термін придатності. Цілком можуть використовуватися традиційні методи для створення продуктів, які відповідають споживчому попиту та конкурентоспроможними на ринку. Чинний термін придатності повинен бути достатнім, щоб фахівці з планування виробництва могли задовольнити попит на постачання, а фахівці з логістики своєчасно доставити продукт торговельним посередникам або безпосередньо споживачам. Саме тому практиковані методи розроблення та використовувана технологія повинні відповідати бізнес-інтересам і цілям маркетингу з погляду витрат на виробництво, а також маркування харчової цінності та використання інгредієнтів, які відповідають очікуванням споживачів харчової продукції. Науковці та профільні фахівці розробляють відповідні формули та визначають цільові параметри оброблення для досягнення бажаного терміну придатності. Відповідальні за якість продукції можуть здійснювати постійне тестування терміну придатності її зразків та виконувати контроль для підтвердження безпечності хлібобулочних виробів, надавати цю інформацію підприємствам ресторанного господарства та роздрібної торгівлі, яка повинна мати достатньо часу для поширення продукту через мережу та демонстрації продукту споживачеві. Споживач також повинен мати розумну та прийнятну кількість часу, щоб побачити упаковку продукту у роздрібній торгівлі, а також зберігати, використовувати або повторно використовувати продукт після його придбання [9, 16].

Відомі обчислювальні методи використовують методи моделювання, які пов'язують експериментальні дані щодо численних характеристик якості та безпечності, що дозволяє проводити різномасштабний аналіз сценаріїв та інтерпретацію для кращого розуміння складної динаміки якості хлібобулочних виробів та терміну їхньої придатності. Звичайно, науковий процес збирання експериментальних даних про продукт у поєднанні з реальною інформацією про дистрибуцію може бути засобом точного прогнозування терміну придатності та зазначенню точних термінів на пакуваннях з хлібобулочними виробами [9].

З метою математичного моделювання терміну придатності хлібобулочних виробів можна використати повний факторний дворівневий експеримент у викладений нижче спосіб. Залежність між терміном придатності певних хлібобулочних виробів та факторів, що впливають на нього, доцільно виразити шляхом повного факторного дворівневого експерименту (ПЕФ 2ⁿ), який охоплює $N = 2^n$ дослідів [13, 15]. Слід зазначити всі можливі

посєднання рівнів n факторів, що впливають на відгук, а функцією відгуку є величина Y , що приймає значення $y_1, y_2, y_3, \dots$ – визначальна кількість діб, протягом яких показники властивостей продукту можна вважати придатним до вживання, оскільки ці показники не виходять за межі відповідних чисельних діапазонів. Фактори повинні бути керованими, оперативними, однозначними, сумісними, незалежними, а точність виконання вимірів достатньою, обране значення (рівень) фактору має бути таким, щоб впродовж експерименту його можна було б підтримувати постійним, доки експеримент триває. Вимогу щодо оперативності фактору реалізують, як послідовність операцій, з допомогою яких встановлюються конкретні значення (рівні) цього фактору. Кожен фактор не повинен бути функцією інших факторів, належна сумісність факторів передбачає здійсненність і безпечність усіх їхніх комбінацій. Незалежність факторів означає відсутність кореляційного зв'язку між факторами свідчить про їхню незалежність. Припустимо, що визначено: для певних хлібобулочних виробів існує сукупність 4 факторів, які відповідають умовам, зазначеним вище. Однією з попередніх умов застосування регресійного аналізу є розподіл модельованої величини за нормальним законом, наприклад за ймовірності 95%. Отже, прогнозований термін придатності харчового продукту визначають за неповним полінома четвертого ступеня із рівняння регресії:

$$y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{14}X_1X_4 + b_{23}X_2X_3 + b_{24}X_2X_4 + b_{34}X_3X_4 + b_{123}X_1X_2X_3 + b_{124}X_1X_2X_4 + b_{134}X_1X_3X_4 + b_{234}X_2X_3X_4 + b_{1234}X_1X_2X_3X_4 \quad (4)$$

Таблиця 1

Основні характеристики плану експерименту

Залучені характеристики	Фактори X_j			
	X_1	X_2	X_3	X_4
Основний рівень (центр експерименту)	a_1	c_1	d_1	e_1
Інтервал варіації Δ_j	a_2	c_2	d_2	e_2
Нижній рівень	a_3	c_3	d_3	e_3
Верхній рівень	a_4	c_4	d_4	e_4
Позначення кодованих факторів	x_1	x_2	d_3	e_4

Для визначання невідомих коефіцієнтів рівняння (4) виконують повний факторний дворівневий експеримент із рівномірним п'ятикратним дублюванням дослідів у кожному рядку плану експерименту. Основні характеристики цього плану зазначено у табл. 1.

Кількість дослідів цього експерименту $N=2^4=16$. Наступну формулу використовують для того, щоб перейти від дійсних значень факторів до кодованих безрозмірних величин:

$$x_j = \frac{X_j - X_j^0}{\Delta X_j} \quad (5)$$

де: x_j – кодоване значення фактору;

X_j – дійсне значення фактору;

X_j^0 – значення основного рівня;

ΔX_j – інтервал варіації.

Для кожного фактору кодоване значення нижнього рівня відповідає (-1), а верхнього рівня відповідає 1.

У табл. 2 представлено використовувану матрицю планування експерименту.

Таблиця 2

Використовувана матриця планування експерименту

i	X_1	X_2	X_3	X_4	x_1	x_2	x_3	x_4		i	X_1	X_2	X_3	X_4	x_1	x_2	x_3	x_4
1	a_3	c_3	e_3	d_3	-1	-1	-1	-1		9	a_4	c_3	e_3	d_3	1	-1	-1	-1
2	a_3	c_3	e_3	d_4	-1	-1	-1	1		10	a_4	c_3	e_3	d_4	1	-1	-1	1
3	a_3	c_3	e_4	d_3	-1	-1	1	-1		11	a_4	c_3	e_4	d_3	1	-1	1	-1
4	a_3	c_3	e_4	d_4	-1	-1	1	-1		12	a_4	c_3	e_4	d_4	1	-1	1	1
5	a_3	c_4	e_3	d_3	-1	1	-1	-1		13	a_4	c_4	e_3	d_3	1	1	-1	-1
6	a_3	c_4	e_3	d_4	-1	1	-1	1		14	a_4	c_4	e_3	d_4	1	1	-1	1
7	a_3	c_4	e_4	d_3	-1	1	1	-1		15	a_4	c_4	e_4	d_3	1	1	1	-1
8	a_3	c_4	e_4	d_4	-1	1	1	1		16	a_4	c_4	e_4	d_4	1	1	1	1

Знаходимо коефіцієнти рівняння регресії, де кодовані значення факторів є змінними:

$$\begin{aligned}
 y = & \tilde{b}_0 + \tilde{b}_{1x_1} + \tilde{b}_{2x_2} + \tilde{b}_{3x_3} + \tilde{b}_{4x_4} + \tilde{b}_{12x_1x_2} + \tilde{b}_{13x_1x_3} + \tilde{b}_{14x_1x_4} + \\
 & + \tilde{b}_{23x_2x_3} + \tilde{b}_{24x_2x_4} + \tilde{b}_{34x_3x_4} + \tilde{b}_{123x_1x_2x_3} + \tilde{b}_{124x_1x_2x_4} + \\
 & + \tilde{b}_{134x_1x_3x_4} + \tilde{b}_{234x_2x_3x_4} + \tilde{b}_{1234x_1x_2x_3x_4}
 \end{aligned}
 \quad 6)$$

У рівнянні (6) коефіцієнти лінійних членів показують значущість впливу факторів: більше чисельне значення коефіцієнта свідчить про те, що вплив цього чинника на термін зберігання є також більшим. У разі позитивного значення коефіцієнта зі збільшенням значення фактору термін зберігання збільшується, в іншому випадку термін зберігання зменшується. Коефіцієнти при добутках x_j визначають ефекти взаємодії факторів. Якщо коефіцієнт при добутку двох кодованих факторів є позитивним, то для збільшення терміну придатності продукту необхідне одночасне збільшення або зменшення значень цих факторів. Скорочення терміну придатності хлібобулочних виробів супроводжується змінами факторів у різних напрямках: у разі, якщо коефіцієнт при добутку двох кодованих факторів є негативним, то для збільшення терміну придатності фактори повинні змінюватись у різних напрямках, а для зменшення потрібне одночасне збільшення або зменшення значень факторів. Відповідно інтерпретують знаки ефектів взаємодії найвищих порядків, а із наведених нижче формул знаходять невідомі коефіцієнти при безрозмірних змінних x_1, x_2, x_3, x_4 :

$$\begin{aligned}
 \tilde{b}_0 &= \frac{\sum_{i=1}^{16} y_i}{16} & 7) \quad & \text{де: } y_i - \text{середнє значення терміну} \\
 & & & \text{придатності, обчислене за результатами 5} \\
 & & & \text{повторюваностей } i\text{-ої серії дослідів;} \\
 \tilde{b}_{ju} &= \frac{\sum_{i=1}^{16} x_{ij} \cdot y_i}{16}, j=1,2,3,4 & 8) \quad & x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, x_{i4} - \text{кодовані значення} \\
 & & & \text{факторів, які відповідають } i\text{-ій серії дослідів.} \\
 \tilde{b}_{ju} &= \frac{\sum_{i=1}^{16} x_{ij} \cdot x_{iu} \cdot y_i}{16}, j < u, j, u=1,2,3,4 & 9) \quad & \text{Випадкова величина (термін придатності)} \\
 & & & \text{розподілена відповідно до нормального закону} \\
 & & & \text{у всьому досліджуваному діапазоні – тоді,} \\
 \tilde{b}_{juv} &= \frac{\sum_{i=1}^{16} x_{ij} \cdot x_{iu} \cdot x_{iv} \cdot y_i}{16}, j < u < v, j, u, v=1,2,3,4 & 10) \quad & \text{незалежно від середніх значень } y_i, \text{ отриманих} \\
 & & & \text{у 5 повторюваностях кожної з 16 серій} \\
 & & & \text{дослідів, дисперсія цієї величини, тобто} \\
 \tilde{b}_{1234} &= \frac{\sum_{i=1}^{16} x_{i1} \cdot x_{i2} \cdot x_{i3} \cdot x_{i4} \cdot y_i}{16}, & 11) \quad & \text{дисперсія відтворюваності, не буде змінювати} \\
 & & & \text{своїєї величини. Однорядними повинні бути} \\
 & & & \text{рядкові оцінки } s_i^2 \text{ зазначеної дисперсії у різних}
 \end{aligned}$$

серіях дослідів. Для того, щоб перевірити гіпотези про однорідність s_i^2 застосовують статистичний критерій Кохрена. У разі, якщо відповідно до нього немає підстав відмовитися від гіпотези про однорідність малих оцінок, умову відтворюваності дослідів дотримано належним чином.

Може бути, що досліди не є відтворюваними. У такому разі досягають відтворюваності шляхом виявлення та усунення причин нестабільності експерименту або шляхом використання більш точних методів та засобів вимірювання. Якщо серед m повторюваностей серії дослідів є результати, що значно відрізняються від інших результатів тієї ж серії, визначення значних помилок можна проводити за статистичним t -критерієм найбільшого відхилення. Результат, отриманий внаслідок такої перевірки, слід виключати з наступного аналізу. За наявності значних помилок виконують додатковий дослід (або ряд дослідів), домагаючись, щоб експеримент був здійснений за $m_1 = m = \text{const}$.

Термін придатності дослідних зразків у кожному досвіді визначають з певною похибкою, отже відповідно до знайденої похибки визначають і коефіцієнт рівняння регресії. Статистичний аналіз рівняння виконують для того, щоб показати із заздалегідь заданою ймовірністю, що отримані оцінки коефіцієнтів рівняння за модулем або більше, або менше, ніж похибка при їх вимірі. У першому випадку вони значно відрізняються від нуля, у другому – незначно, тобто із рівняння вони повинні бути виключені.

Для здійснення перевірки значимості коефіцієнтів рівняння регресії, використовують статистичний критерій Стюдента. Складові з незначними коефіцієнтами виключають із рівняння. Причиною отримання незначного лінійного коефіцієнта будь-якого фактора може бути незначним, коли він на термін придатності не впливає. Якщо інтервал варіювання є занадто малим, зміна відгуку, зумовлена зміною фактора, є пропорційною щодо випадкових відхилень, викликаних впливом неврахованих факторів. Також причиною отримання незначного лінійного коефіцієнта може бути те, що значення конкретного фактору у центральній точці експерименту (табл. 2) відповідає його оптимальній величині, тому однакове його збільшення або зменшення на Δj зменшить значення відгуку приблизно на одну й ту саму величину.

У разі, якщо в рівнянні після перевіряння значимості коефіцієнтів залишаються всі N коефіцієнтів, то перевірка адекватності моделі позбавлена сенсу, оскільки розраховане по такому рівнянню значення терміну придатності умов будь-який i -й серії дослідів має у межах точності округлення збігатися з прийнятою для розрахунку величиною.

Кількість значущих коефіцієнтів може бути хоча б на одиницю меншою ніж кількість серій дослідів, тоді є необхідність виконуваної за допомогою критерію Фішера статистичної перевірки адекватності отриманого рівняння відповідно до експериментальних даних. Якщо виявлено неадекватність моделі, це може бути обумовлено як надміру точним описом експериментальних даних зазначеним рівнянням, так і тим, що точність опису процесу значуще нижче тієї точності, з якою отримані експериментальні дані. Рівняння, у першому випадку, може бути основою для пошуку оптимальних умов, але не може використовуватися для перевірки тієї чи іншої гіпотези щодо механізму процесу.

Для здійснення визначання терміну придатності хлібобулочних виробів за допомогою отриманого рівняння регресії в тому випадку, коли фактори набувають дійсних значень, слід здійснити перетворення кодованих факторів за формулою (4). Відповідно, коефіцієнти регресії зміняться – втім, виключається інтерпретація впливу факторів за величинами та знаками коефіцієнтів регресії, оскільки через обставини, зумовлені властивостями матриці планування експерименту, коефіцієнти рівняння будуть визначатися у взаємній залежності, проте для отримання інтерполяційної формули зазначений прийом можна використовувати на практиці. Замінюючи у знайденому рівнянні регресії змінні x_1, x_2, x_3, x_4 з урахуванням даних табл. 2 на величини $\frac{X_1 - a_1}{a_2}, \frac{X_2 - c_1}{c_2}, \frac{X_3 - d_1}{d_2}$ та $\frac{X_4 - e_1}{e_2}$ відповідно, отримаємо інтерполяційну формулу, що дозволяє за конкретними значеннями початкових умов зберігання хлібобулочних виробів, прогнозувати тривалість їх безпечного зберігання.

Для гарантування харчової безпечності хлібобулочної продукції та безперешкодного здійснення її ринкового обігу необхідним є наукове обґрунтування вимог до умов зберігання зазначеної продукції, зокрема з метою можливого та доцільного урахування у технічному

регулюванні, зокрема при розробці стандартів та інших нормативних документів різного рівня. З метою уповільнення хімічних процесів і стабілізації показників якості продукту в процесі зберігання вживають заходів щодо встановлення відповідного температурного режиму, використовують ефективні пакувальні матеріали, застосовують досконаліше технологічне обладнання [25, 26].

Випробування з метою визначання термінів придатності харчових продуктів виконують у наступний спосіб. Зазвичай такі дослідження складаються із серії заздалегідь встановлених контрольних дослідів зі зберігання впродовж певного часу із заданою частотою до досягнення обраної граничної точки погіршення або до досягнення заданих меж призначених показників безпечності та якості. Ключовими моментами при плануванні випробування на термін придатності є час, протягом якого проводитиметься дослідження, певна частота відбору проб та контроль, який здійснюватиметься до моменту прояву значного погіршення якості продукту. Зазвичай фактом є брак доступної попередньої інформації, отже необхідно планувати одночасний мікробіологічний, фізико-хімічний та органолептичний контроль показників безпечності та якості [27, 28].

Для досліджень термінів придатності практикують застосування двох типів планів дослідження: базового плану та плану зі зниженням якості. Базовий план полягає у зберіганні партії зразків у вибраних умовах та відборі проб через задані інтервали часу. Усі відповідні аналізи проводять для кожного зразка. Перевага використання базового плану полягає в тому, що він передбачає дослідження однієї партії продукції. Поетапний план передбачає зберігання різних партій продукції за вибраних умов у різний час, щоб усі зразки з різним ступенем погіршення якості були отримані та проаналізовані впродовж одного дня. Перевага поетапної схеми полягає в тому, що всі випробування проводяться в один день (група оцінювання збирається лиш один раз, також лише один раз здійснюють опитування споживачів), отже відсутня необхідність зберігати контрольний зразок [27, 28].

Органолептичні показники якості хліба визначають через органи зору, нюху, смаку, слуху та дотику. З точки зору споживачів, органолептична якість належить до найважливіших чинників прийняття продукту. Уздовж усього ланцюжка виробництва хліба, від вирощування пшениці до упаковки, чимало факторів чинять вирішальний вплив на органолептичні показники якості хліба, і методи органолептичного аналізування стають все більш використовуваними інструментами як у хлібопекарській промисловості, так і в наукових дослідженнях. У цілому, оперують з такими групами органолептичних характеристик хліба, як: зовнішній вигляд, аромат, показники текстури та смак» [28-30].

Зовнішній вигляд включає показники, які оцінюються візуально: колір м'якушу, колір скоринки, кількість повітряних порожнин, їх форма і рівномірність. У хлібі з пшеничного борошна колір м'якуша варіює від кремово-білого до світло-коричневого залежно від ступеня очищення зерна при виготовленні борошна. Борошно з зерна меншого ступеня очищення (напівцільнозернове або цільнозернове) дає темніший м'якуш, оскільки при додаванні периферійних частин зерна в борошно він стає темнішим» (28, 29, 31). Тип борошна, що використовується в хлібопеченні, також впливає на колір м'якушу, хоча деякі фактори, такі як окислення каротиноїдних пігментів, що відбувається під час замішування, можуть спричинити появу надміру світлого м'якуша в хлібі з пшеничного борошна. При дуже інтенсивному замішуванні утворюється втричі більше деяких летких органічних кислот, які можуть викликати неприємні запахи. Колір скоринки формується на етапі випікання і пов'язаний з реакціями Майяра і карамелізації, у яких утворюються сполуки, які впливають на колір і смак хліба. Ферменти α -амілази, присутні в борошні, гідролізують крохмаль до глюкози та мальтози, які засвоюються дріжджами і також є субстратами в реакціях Майяра. Отже, низька активність α -амілази у борошні може призвести до недостатньо інтенсивного забарвлення скоринки [29, 29].

Запах хліба – ще один визначальний чинник сприйняття продукту споживачами. Хоча ідентифіковано велику кількість летких сполук, пов'язаних з ароматом хліба, лише деякі з них надають вирішальний вплив на його кінцевий запах. Вони виникають внаслідок

ферментативної активності при замісі тіста, метаболізму дріжджів та молочнокислих бактерій під час бродіння тіста, реакцій окислення ліпідів та термічних реакцій при випіканні, насамперед реакцій Майяра та карамелізації. Ферментація тіста забезпечує ароматичні компоненти переважно у м'якуші, натомість процес випікання впливає, насамперед, на запах скоринки. Запах спекеного хліба залежить від утворення в скоринці активних ароматичних сполук у процесі виробництва [28, 29].

У дріжджовому хлібі показники текстури є визначальними серед органолептичних показників хліба та суттєво впливають на рішення споживачів про купівлю того чи іншого хлібобулочного виробу. Короткий термін зберігання хліба та втрата свіжості м'якушу суттєво пов'язані зі зміною двох параметрів текстури – зростанням щільності та втратою еластичності. Текстура м'якушу хліба залежить від кількості води, доданої в тісто, і можливого використання спеціальної муки в процесі виробництва. Сприйняття атрибутів текстури кваліфікованими експертами зазвичай відбувається у два етапи. Перший – тактильний, на якому м'якуш стискають пальцем для оцінювання таких характеристик, як щільність та еластичність. На другому етапі зразок поміщають до рота, оцінюючи вологість, липкість та зв'язуваність [28, 29].

Смак є сукупністю відчуттів від їжі, яку сприймають органи почуттів у роті людини. Смак включає нюхові відчуття, викликані летючими речовинами, що сприймаються в носовій порожнині, а також відчуттів, викликаних розчинними речовинами, що сприймаються в роті як основні смакові відчуття, а також хімічні відчуттєві фактори (в'язкий, пряний, гарячий, холодний), які сприймають нерви. Отже, смак – це одночасне сприйняття смаку, аромату та реакції нервів. Такі характеристики, як солодкий, кислий, солоний, гіркий та маслянистий, зазвичай використовуються в описових профілях. На смак хліба впливають такі фактори, як мікроорганізм, що використовується для ферментації, зольність борошна (що залежить від швидкості екстракції) та температура ферментації [28, 29].

Насамперед, слід згадати чинник хімічного псування хліба через наявність у його складі деяких видів жирів схильних до згіркнення – реакції кисню повітря з деякими харчовими сполуками, яка призводить до утворення небажаних або навіть високотоксичних сполук. Згіркнення супроводжується руйнацією ліпідів, що призводить до появи неприємних запахів і присмаків, роблячи продукти несмачними і, отже, скорочуючи термін їхнього зберігання. Втім, хімічні чинники псування не є занадто розповсюдженою проблемою [28, 32].

Щодо мікробіологічних чинників слід зазначити наступне. Хліб і печиво є сухими продуктами, що не містять достатньої кількості вологи для росту бактерій. Псування цих продуктів зазвичай спричиняється пліснявою – грибами, що зустрічаються як на відкритому повітрі, так і у вологих, погано освітлених місцях. Пліснява є основним обмежувальним фактором терміну придатності продуктів з високим або середнім вмістом вологи і, отже, є основною причиною економічних втрат у хлібопекарській промисловості. Оскільки в процесі випікання тісто піддається дії високих температур (вище ніж 180°C), це знищує будь-які суперечки та бактерії, які можуть бути присутніми. Отже, присутність мікроорганізмів у кінцевому продукті обумовлена подальшою обробкою, зберіганням у вологій атмосфері, пакуванням (особливо якщо гарячий хліб) і впливом на хліб повітря, що містить суперечки. Дріжджі та пліснява спричиняють утворення неприємних присмаків, також відбувається продукування мікотоксинів та алергенних сполук, які можуть утворюватися ще до того, як їх зростання стане видимим. У пшеничному хлібі домінують *Penicillium commune*, *P. solitum*, *P. corylophilum* та *Aspergillus flavus*. Дріжджі, які зазвичай називають крейдянню пліснявою, також є значною причиною псування. Хлібобулочні вироби з високим вмістом вологи також можуть уражатися бактеріальними інфекціями, найбільш поширеною з яких є «тягуча хвороба», яку спричиняє спороутворююча бактерія *Bacillus subtilis*. Цей мікроорганізм часто присутній у сирих інгредієнтах (наприклад, муці, цукрі та дріжджах), виживає в процесі

випікання, проростає при охолодженні та розмножується як в аеробних, так і в анаеробних умовах упаковки [28, 33].

Черствіння хліба – це сукупність фізичних чинників псування, що діють після випікання. Спричинені фізико-хімічними реакціями, а не впливом мікроорганізмів, вони призводять до зміни органолептичних характеристик – смаку, аромату та текстури: розм'якшення скоринки та затвердіння м'якушу. Розм'якшення скоринки відбувається внаслідок дифузії вологи з м'якушу до скоринки, чому сприяє градієнт концентрації (м'якуш містить більше вологи, ніж скоринка), а також поглинання вологи з повітря. Затвердіння м'якушу пояснюється поєднанням кількох явищ, таких як ретроградація амілози, рекристалізація амілопектину та утворення зв'язків між глютенем та крохмалем [28, 33]. Хліб черствіє повільніше за кімнатної температури (15–20°C), ніж за температури зберігання в холодильнику. Його не слід зберігати в холодильнику, тому що в цих умовах процес старіння відбувається у шість разів швидше. Заморожування слід проводити швидко, щоб уникнути тривалого піддавання температурі близько 0°C. Рекомендується зберігати продукт у герметичних контейнерах за кімнатної температури [28, 32].

Узагальнену схему організації та виконання випробувань з метою визначання термінів зберігання хлібобулочних виробів наведено на рис. 1.

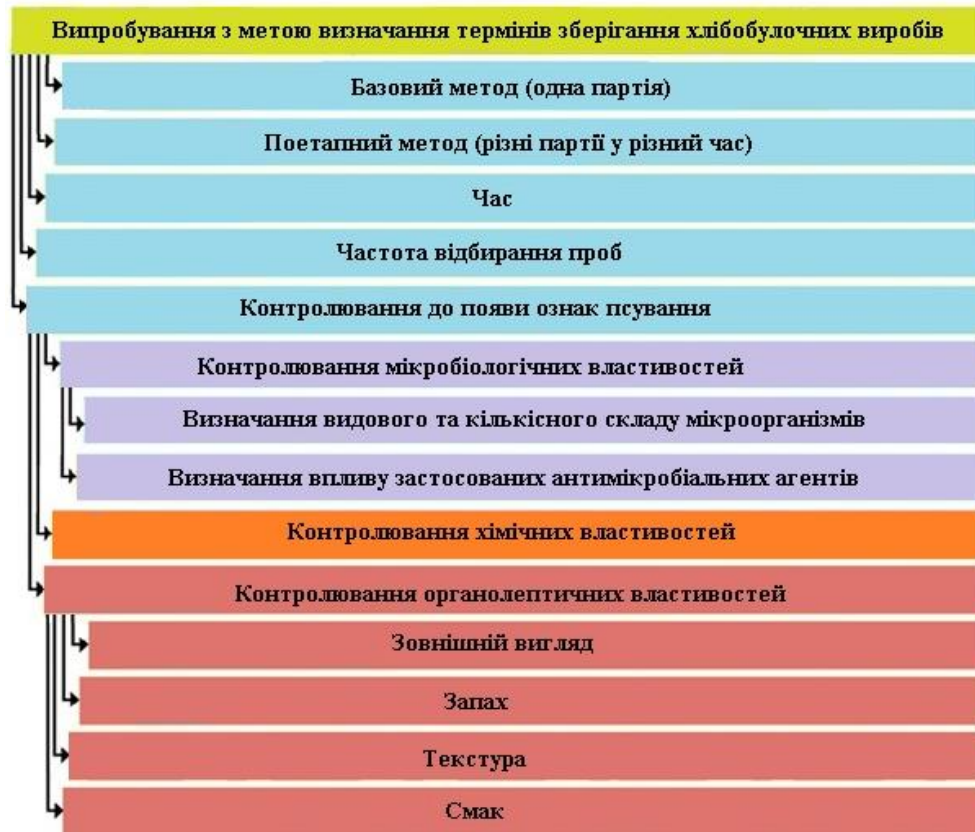


Рис. 1. Узагальнена схема організації та виконання випробувань з метою визначання термінів зберігання хлібобулочних виробів

Пряме визначання, що полягає у витримуванні продукту в умовах, передбачених для його зберігання, в першу чергу за певної температури, дозволяє визначати критичний показник якості в різні моменти часу до досягнення граничного значення. Позитивним також є те, що зазвичай відтворює найгірші умови, з якими може зіткнутися досліджуваний виріб у реальних умовах. Втім, зазначений метод є занадто трудомістким, він реалізується без залучення патогенів, умови зберігання продукту є фіксованими, а у разі зміни умов екстраполювати результати неможливо [28].

У разі залучення прискорених методів продукти зазнають впливу певних умов, зазвичай за температур, вищих ніж очікувані, з метою прогнозування терміну придатності за короткий період часу. Особливо цінними зазначені методи є у разі тривалого зберігання. Їх

застосовують для перевірки ефективності процесу, валідації змін у рецептурі продукту або проведення контролю якості. З іншого боку, отримані результати мають певну похибку, тобто іноді продукти псуються, а за нормальних умов зберігання таке псування не спостерігається [28].

Дослідження ефективності використання антимікробних агентів полягають в тому, що мікроорганізми зазнають впливу умов, в яких знаходиться харчовий продукт. Втім, ці складні та трудомісткі дослідження дають інформацію лише про конкретний продукт та процес, яких стосувалися випробування [28].

Метод мікробіологічного прогнозування полягає у вивченні еволюції мікроорганізмів під впливом низки чинників, що впливають на їхній ріст або інактивацію, з метою прогнозування їхньої поведінки в системі. Такі методи є універсальними та дуже корисними у разі розроблення новітнього продукту. Його головним недоліком є те, що результати потребують подальшого валідаційного дослідження в умовах, характерних для зберігання мікробіологічного продукту [28].

Органолептичні дослідження також проводять для визначення еволюції продукту у сенсі його органолептичних властивостей. Це може бути зроблено за допомогою панелей нефахових дегустаторів, які оцінюють прийнятність/неприйнятність продукту, або за допомогою панелей навчених дегустаторів, які здійснюють тести на відмінність або оцінюють продукт за шкалою за допомогою описових тестів [28]. Аналіз базується на виявленні та описі якісних та кількісних органолептичних характеристик панелями навчених дегустаторів. Учасники повинні надати кількісні значення, пропорційні інтенсивності, яку вони сприймають для кожного з атрибутів, які оцінюються в ході описового аналізу. Мета тестів – отримати кількісні характеристики за допомогою опису важливих властивостей оцінюваного продукту. У цьому типі тестів термінологія має бути конкретною, єдиною, конкретною та відповідати еталонним стандартам для аналізованого продукту [28, 34]. Описовий сенсорний аналіз є складнішим порівняно з іншими органолептичними методами. Результати включають повний опис продуктів і служать основою для визначення органолептичних характеристик, важливих для прийнятності; вони можуть зв'язувати змінні характеристики процесу з конкретними змінами органолептичних характеристик [28, 35].

Висновки. На якість і безпеку хлібобулочних виробів під час зберігання впливають такі фактори, як температура зберігання, ефективність і надійність пакування, рівень вологості, мікробіологічна чистота.

Для прогнозування термінів придатності хлібобулочних виробів використовують математичне моделювання та експериментальний аналіз. Математичне моделювання використовує кінетичні моделі, за допомогою яких можна прогнозувати динаміку змін якості продуктів під час зберігання. Використовуючи повний факторний експеримент (ПФЕ 2ⁿ) можливо оцінити вплив окремих факторів і їх поєднань на термін придатності.

Використання сучасних технологій пакування, математичного моделювання для прогнозування термінів придатності та підтримання оптимальних умов зберігання є основними рекомендаціями для забезпечення високої якості та безпеки хлібобулочних виробів. Ці методи спрямовані на підвищення ефективності харчової безпеки та збереження ресурсів у сільському господарстві та переробній промисловості.

Бібліографія

1. Gálvez-Toledo D. K., Contreras-López E., Jaimez-Ordaz J., González-Olivares L. G., Pérez-Flores J. G. Estudio de los atributos fisicoquímicos de calidad que influyen en la vida útil de muffins de vainilla. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 2023. Vol. 8, № 1. P. 889–898.
2. Kandoli L. Effect of food shelf life on food quality. *Journal of Advances in Humanities and Social Sciences*. 2022. Vol. 8, № 1. P. 38–42.
3. Jam F. A., Khan T. I., Zaidi B. H., Muzaffar S. M. Political skills moderates the relationship between perception of organizational politics and job outcomes. *Journal of Educational and Social Research*. 2011. Vol. 1, № 4. P. 57–70.

4. Fauzia M., Farooq A. J., Farooq A. Consumer trust in e-commerce: A study of consumer perceptions in Pakistan. *African Journal of Business Management*. 2012. Vol. 6, № 7. P. 2516–2528. <https://doi.org/10.5897/AJBM11.080>.
5. Hermiani A., Nurfajrina L., Achyadi N., Agustina M. The estimation of shelf life of instant porridge in the different packaging with method of accelerated shelf life testing of arrhenius model. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, East Java, Indonesia. 2021. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/672/1/012060>.
6. Khan T. I., Akbar A., Jam F. A., Saeed M. M. A time-lagged study of the relationship between big live personality and ethical ideology. *Ethics & Behavior*. 2016. Vol. 26, № 6. P. 488–506. <https://doi.org/10.1080/10508422.2015.1055493>.
7. Petrescu D. C., Vermeir I., Petrescu-Mag R. M. Consumer understanding of food quality, healthiness, and environmental impact: A cross-national perspective. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020. Vol. 17, № 1. P. 1–20. <https://doi.org/10.3390/ijerph17010169>.
8. Sacks G., Riesenbergh D., Mialon M., Dean S., Cameron A. J. The characteristics and extent of food industry involvement in peer-reviewed research articles from 10 leading nutrition-related journals in 2018. *PloS One*. 2020. Vol. 15, № 12. P. 1–15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0243144>.
9. Taormina P. J. Purposes and Principles of Shelf Life Determination. In: Taormina P. J., Hardin M. D. (eds) *Food Safety and Quality-Based Shelf Life of Perishable Foods*. Food Microbiology and Food Safety. Springer, Cham. 2021.
10. Kuts O., Verbytskyi S., Bokova S., Kozachenko O., Patsera N. Food security and food safety issues of the long-term storage of meat and milk products. *Animal Husbandry Products Production and Processing*. 2022, № 1, P. 162–167. <https://doi.org/10.33245/2310-9289-2022-170-1-162-167>
11. Amit S. K., Uddin M., Rahman R., Islam S., Khan M. S. A review on mechanisms and commercial aspects of food preservation and processing. *Agriculture & Food Security*. 2017. Vol. 6, (1). P. 1–22. <https://doi.org/10.1186/s40066-017-0130-8>.
12. Pérez Azurmendi M. Gluten gabeko ogi jasagarri baten segurtasun azterketa. Bilbo: Euskal Herriko Unibertsitatea, 2023. 27 o. https://addi.ehu.eus/bitstream/handle/10810/62393/GrAL_Perez.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
13. Verbytskyi S., Yashchenko L., Patsera N. Analytical approaches to forecasting the safe shelf life of food products. *Perspectivile și problemele integrării în spațiul European al cercetării și educației*. Vol. XI, Partea 1. Cahul, 6 iunie 2024. P. 354–363.
14. Amorim P., Meyr H., Almeder C., Almada-Lobo B. Managing perishability in production-distribution planning: a discussion and review. *Flexible Services and Manufacturing Journal*. 2011. № 25 (3). P. 389–413.
15. Bocharova-Leskina A., Verbytskyi S. Theoretic approaches to substantiate shelf life capacity of butter and spreads. *Journal of Engineering Science*. XXVI (3). 2019. P. 78–88.
16. Martins R. C., Lopes V. V., Vicente A. A., Teixeira J. A. Computational Shelf-Life Dating: Complex Systems Approaches to Food Quality and Safety. *Food Bioprocess Technol*. 2008. № 1. P. 207–222.
17. Гуць В. С., Русавська В. А., Коваль О. А. Математичне моделювання якості харчових продуктів. Гостинність, сервіс, туризм: досвід, проблеми, інновації: тези доповідей VI Міжнародної науково-практичної конференції. Київ, 11–12 квіт., 2019 р. Київ : Видавничий центр КНУКіМ. 2019. С. 27–32.
18. Коваль О. А., Гуць В. С. Кінетична теорія моделювання якості й прогнозування терміну придатності харчових продуктів. *Товари і ринки*. 2008. № 2. С. 67–74.
19. Мотузка Ю. М., Ященко Л. О., Мотузка О. М. Математичне моделювання комплексних показників якості продуктів для ентерального харчування на етапах їх життєвого циклу. *Технічні науки та технології*. 2018. Т. 4, №14. С. 223–229.
20. Domínguez-Pérez L. A., Concepción-Brindis I., Lagunes-Gálvez L. M., Barajas-Fernández J., Márquez-Rocha F. J., García-Alamilla P. Kinetic studies and moisture diffusivity during cocoa bean roasting L. *Processes*. 2019. Vol. 7, № 10. P. 770.
21. Van Boekel M. Kinetic modeling of food quality: A critical review. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 2008. № 7. P. 144–157.
22. Yamsaengsung R., Rungsee C., Prasertsit K. Simulation of the heat and mass transfer processes during the vacuum frying of potato chips. *Songklanakarin J. Sci. Technol*. 2008. № 30. P. 109–115.
23. Goots V., Koval O., Bondar S., Verbytskyi S. Simulation of high pressure meat processing. *Proceedings of University of Ruse*. 2020. Vol. 10.2. No.59. P. 60–67.

24. Kilcast David. Shelf-life evaluation of foods (second edition). International Journal of Food Science & Technology. 2001. Vol. 36, № 8. P. 856. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2001.0530b.x>
25. Steele R. Understanding and Measuring the Shelf-Life of Food. Cambridge CB1 6AH, UK: Woodhead Publishing. 2004. 448 p.
26. Verbytskyi S. B., Matiyashchuk A.M., Riabinina N. O., Patsera N. M. Issues of safe food storage in the education of graduate students of profile specialties: concept and information support. Zhetysu University named after Ilyas Zhansugurov Bulletin of Educational Sciences. 2025, № 1 (114), P. 31–38. <https://www.doi.org/10.53355/ZHU.2025.114.1.003>.
27. Gámbaro A. Diseño de ensayos de vida útil de alimentos. En: Hough G, Fiszman S. Estimación de la vida útil sensorial de los alimentos. Programa CYTED. 2005. p. 4351.
28. Jaramillo Rodríguez J. Protocolo para la vida útil del pan sin relleno. Medellín : Universidad de Antioquia Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias Departamento de Alimentos. 2020. 75 p.
29. Callejo-González MJ. Principales atributos sensoriales del pan. La importancia de la cata. Universidad Politécnica de Madrid. Esc. Téc. Sup de Ingenieros Agrónomos. Madrid-España. 2009.
30. Юдічева О. П., Калашник О. В., Мороз С. Е., Рибалко О. А., Корсун А. В. Органолептичне оцінювання хліба пшеничного, збагаченого продуктами переробки гарбуза. Вісник ЛТЕУ. Технічні науки. 2020, (23), 136–144.
31. Ковальова В. П. Розробка технології виробництва борошна із заданими показниками якості. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.18.02. – технологія зернових, бобових, круп'яних продуктів і комбікормів, олійних і луб'яних культур (технічні науки). Одеса : Одеська національна академія харчових технологій. Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. 2019. 214 с.
32. Ronayne P, Brites C; Ferrero C, Arocha M, León AE. Efecto de los tratamientos tecnológicos sobre la calidad nutricional y saludable de panes y productos de panadería. En: Lutz Mariane, León A. E. Aspectos nutricionales y saludables de los productos de panificación: Universidad de Valparaíso. 2009. p. 120–145.
33. Giannou V, Lebesi D, Tzia C. Packaging and Shelf-life Prediction of Bakery Products. Offices; 2014. En: Zhou W, Hui Y.H I., De Leyn I. Bakery Products Science and Technology. 2 ed. Chichester: Editorial Offices. 2014. p. 355–366.
34. Liria Domínguez M. R. Guía para la Evaluación Sensorial de Alimentos. Lima : Instituto de Investigación Nutricional. 2007. 44 p.
35. Santa Cruz MJ, Martínez C, Varela P. Principios básicos de análisis sensorial. En: Hough G, Fiszman S. Estimación de la vida útil sensorial de los alimentos. Madrid: Programa CYTED. 2005. p.18–41.

References

1. Gálvez-Toledo, D. K., Contreras-López, E., Jaimez-Ordaz, J., González-Olivares, L. G., Pérez-Flores, J. G. (2023). Estudio de los atributos fisicoquímicos de calidad que influyen en la vida útil de muffins de vainilla. Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos, 8 (1), 889–898.
2. Kandoli, L. (2022). Effect of food shelf life on food quality. Journal of Advances in Humanities and Social Sciences, 8 (1), P. 38–42.
3. Jam, F. A., Khan, T. I., Zaidi, B. H., Muzaffar, S. M. (2011). Political skills moderates the relationship between perception of organizational politics and job outcomes. Journal of Educational and Social Research, 1(4), 57–70.
4. Fauzia, M., Farooq, A. J., Farooq, A. (2012). Consumer trust in e-commerce: A study of consumer perceptions in Pakistan. African Journal of Business Management, 6 (7), 2516–2528. <https://doi.org/10.5897/AJBM11.080>.
5. Herminiati, A., Nurfajrina, L., Achyadi, N., Agustina, M. (2021) The estimation of shelf life of instant porridge in the different packaging with method of accelerated shelf life testing of arrhenius model. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, East Java, Indonesia. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/672/1/012060>.
6. Khan, T. I., Akbar, A., Jam, F. A., Saeed, M. M. (2016). A time-lagged study of the relationship between big live personality and ethical ideology. Ethics & Behavior, 26 (6), 488–506. <https://doi.org/10.1080/10508422.2015.1055493>.
7. Petrescu, D. C., Vermeir, I., Petrescu-Mag, R. M. (2020). Consumer understanding of food quality, healthiness, and environmental impact: A cross-national perspective. International Journal of Environmental Research and Public Health, 17 (1), 1–20. <https://doi.org/10.3390/ijerph17010169>.

-
8. Sacks, G., Riesenbergs, D., Mialon, M., Dean, S., Cameron, A. J. (2020). The characteristics and extent of food industry involvement in peer-reviewed research articles from 10 leading nutrition-related journals in 2018. *PloS One*, 15 (12), P. 1–15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0243144>.
9. Taormina, P. J. (2021). Purposes and Principles of Shelf Life Determination. In: Taormina P. J., Hardin M. D. (eds) *Food Safety and Quality-Based Shelf Life of Perishable Foods*. Food Microbiology and Food Safety. Springer, Cham.
10. Kuts, O., Verbytskyi, S., Bokova, S., Kozachenko, O., Patsera, N. (2022). Food security and food safety issues of the long-term storage of meat and milk products. *Animal Husbandry Products Production and Processing*, 1, 162–167. <https://doi.org/10.33245/2310-9289-2022-170-1-162-167>.
11. Amit, S. K., Uddin, M., Rahman, R., Islam, S., Khan, M. S. (2017). A review on mechanisms and commercial aspects of food preservation and processing. *Agriculture & Food Security*, 6 (1), 1–22. <https://doi.org/10.1186/s40066-017-0130-8>.
12. Pérez Azurmendi, M. (2023). Gluten gabeko ogi jasangarri baten segurtasun azterketa. Bilbo: Euskal Herriko Unibertsitatea, 27 o. https://addi.ehu.eus/bitstream/handle/10810/62393/GrAL_Perez.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
13. Verbytskyi, S., Yashchenko, L., Patsera, N. (2024). Analytical approaches to forecasting the safe shelf life of food products. *Perspectivile și problemele integrării în spațiul European al cercetării și educației*, XI, Partea 1. Cahul, 6 iunie 2024. P. 354–363.
14. Amorim, P., Meyr, H., Almeder, C., Almada-Lobo, B. (2011). Managing perishability in production-distribution planning: a discussion and review. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 25(3), 389–413.
15. Bocharova-Leskina, A., Verbytskyi, S. (2019) Theoretic approaches to substantiate shelf life capacity of butter and spreads. *Journal of Engineering Science*, XXVI (3), 78–88.
16. Martins, R. C., Lopes, V. V., Vicente, A. A., Teixeira, J. A. (2008). Computational Shelf-Life Dating: Complex Systems Approaches to Food Quality and Safety. *Food Bioprocess Technol.*, 1, 207–222.
17. Huts, V. S., Rusavska, V. A., Koval, O. A. (2019). Matematychni modeliuvannia yakosti kharchovykh produktiv. [Mathematical modeling of food product quality]. *Hostynnist, servis, turizm: dosvid, problemy, innovatsii : tezy dopovidei VI Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii [Hospitality, service, tourism: experience, problems, innovations: abstracts of the VI International Scientific and Practical Conference]*. Kyiv, 11–12 kvit., 2019 r. Kyiv: Vydavnychiy tsentr KNUKiM, 27–32. [in Ukrainian].
18. Koval, O. A., Huts, V. C. (2008). Kinetychna teoriia modeliuvannia yakosti y prohnozuvannia terminu prydatnosti kharchovykh produktiv. [Kinetic theory of quality modeling and shelf life prediction of food products] *Tovary i rynky. [Goods and Markets]*, 2, 67–74. [in Ukrainian].
19. Motuzka, Yu. M., Yashchenko, L. O., Motuzka, O. M. (2018). Matematychni modeliuvannia kompleksnykh pokaznykiv yakosti produktiv dlia enteralnoho kharchuvannia na etapakh yikh zhyttievoho tsyklu. [Mathematical modeling of complex quality indicators of products for enteral nutrition at different stages of their life cycle] *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii [Technical Sciences and Technologies]*, 4(14), 223–229. [in Ukrainian].
20. Domínguez-Pérez, L. A., Concepción-Brindis, I., Lagunes-Gálvez, L. M., Barajas-Fernández, J., Márquez-Rocha, F. J., García-Alamilla, P. (2019). Kinetic studies and moisture diffusivity during cocoa bean roasting. *L. Processes*, 7(10), 770.
21. Van Boekel, M. (2008). Kinetic modeling of food quality: A critical review. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 7, 144–157.
22. Yamsaengsung, R., Rungsee, C., Prasertsit, K. (2008). Simulation of the heat and mass transfer processes during the vacuum frying of potato chips. *Songklanakarin J. Sci. Technol.*, 30, 109–115.
23. Goots, V., Koval, O., Bondar, S., Verbytskyi, S. (2020). Simulation of high pressure meat processing. *Proceedings of University of Ruse*, 10.2, 59, 60–67.
24. Kilcast, D. (2001). Shelf-life evaluation of foods (second edition). *International Journal of Food Science & Technology*, 36 (8), 856. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2001.0530b.x>.
25. Steele, R. (2004). *Understanding and Measuring the Shelf-Life of Food*. Cambridge CB1 6AH, UK: Woodhead Publishing. 448 p.
26. Verbytskyi, S. B., Matiyashchuk, A. M., Riabinina, N. O., Patsera, N. M. (2025). Issues of safe food storage in the education of graduate students of profile specialties: concept and information support. *Zhetysu University named after Ilyas Zhansugurov Bulletin of Educational Sciences*, 1(114), 31–38. <https://www.doi.org/10.53355/ZHU.2025.114.1.003>.
-

-
27. Gámbaro, A. (2005). Diseño de ensayos de vida útil de alimentos. En: Hough G, Fiszman S. Estimación de la vida útil sensorial de los alimentos. Programa CYTED. p. 4351.
28. Jaramillo Rodríguez, J. (2020). Protocolo para la vida útil del pan sin relleno. Medellín : Universidad de Antioquia Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias Departamento de Alimentos. 75 p.
29. Callejo-González, M. J. (2009). Principales atributos sensoriales del pan. La importancia de la cata. Universidad Politécnica de Madrid. Esc. Téc. Sup de Ingenieros Agrónomos. Madrid-España.
30. Yudicheva, O. P., Kalashnyk, O. V., Moroz, S. E., Rybalko, O. A., Korsun, A. V. (2020). Orhanoleptychne otsiniuvannia khliba pshenychnoho, zbahachenoho produktamy pererobky harbuza. [Organoleptic evaluation of wheat bread enriched with pumpkin processing products]. Visnyk LTEU. Tekhnichni nauky [Bulletin of LTEU. Technical Sciences], 23, 136–144. [in Ukrainian].
31. Kovalova, V. P. (2019). Rozrobka tekhnolohii vyrobnytstva boroshna iz zadanymy pokaznykamy yakosti [Development of flour production technology with specified quality indicators.]. Dysertatsiia na zdobuttia naukovooho stupenia kandydata tekhnichnykh nauk za spetsialnistiu 05.18.02. – tekhnolohiia zernovykh, bobovykh, krupianykh produktiv i kombikormiv, oliinykh i lubianykh kultur (tekhnichni nauky). Odesa: Odeska natsionalna akademiia kharchovykh tekhnolohii. [Odessa National Academy of Food Technologies]. Podaietsia na zdobuttia naukovooho stupenia kandydata tekhnichnykh nauk. 214 p. [in Ukrainian].
32. Ronayne, P., Brites, C., Ferrero, C., Arocha, M., León, A. E. (2009). Efecto de los tratamientos tecnológicos sobre la calidad nutricional y saludable de panes y productos de panadería. En: Lutz Mariane, León A.E. Aspectos nutricionales y saludables de los productos de panificación: Universidad de Valparaíso, 120–145.
33. Giannou, V., Lebesi, D., Tzia, C. (2014) Packaging and Shelf-life Prediction of Bakery Products. Offices; En: Zhou, W., Hui, Y.H I., De Leyn, I. Bakery Products Science and Technology. 2 ed. Chichester: Editorial Offices, 355–366.
34. Liria Domínguez, M. R. (2007). Guía para la Evaluación Sensorial de Alimentos. Lima : Instituto de Investigación Nutricional. 44 p.
35. Santa Cruz, MJ., Martínez, C., Varela, P. (2005). Principios básicos de análisis sensorial. En: Hough G, Fiszman S. Estimación de la vida útil sensorial de los alimentos. Madrid: Programa CYTED, 18–41.
-