

УДК 658.562

JEL L15, C10, D41

DOI 10.32782/2786-8273/2023-2-13

Сеник Ю.І.

кандидат біологічних наук,
докторант за спеціальністю «Економіка»,
старший викладач кафедри екології та охорони здоров'я,
старший викладач кафедри підприємництва та торгівлі,
Західноукраїнський національний університет;
начальник фізико-хімічної лабораторії
ПрАТ «Тернопільський молокозавод»
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8164-7783>

Yurii Senyk

West Ukrainian National University;
PJSC "Ternopil Milk Factory"

ВИЗНАЧЕННЯ ОКРЕМИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОДУКЦІЇ ЯК ЕЛЕМЕНТ КОНТРОЛЮ ЇЇ ЯКОСТІ

DETERMINATION OF INDIVIDUAL PRODUCT PARAMETERS AS AN ELEMENT OF QUALITY CONTROL

Анотація. Дослідження емпірично підтвердило ефективність методології «критичне дерево якості» («Critical to Quality Trees (CTQ)») для побудови алгоритму вхідного контролю якості пластівців попкорну з карамеллю та карамеллю і какао, при цьому по-рівнево виділено кількісні характеристики продукту. Проведено статистичний аналіз первинних результатів та розрахунок їх співвідношень. Встановлено, що діаметр та маса попкорну відіграють важливу роль у якості цього продукту та визначають такі показники як істинна та насипна густина, що матиме важливий вплив при фасуванні пластівців та зовнішньому вигляді спожиткової тари. Для оцінки якості продукту авторами запропонований «індекс розподілу карамелі». Окрім загальної оцінки якості продукту здійснена спроба розрахунку статистично достовірного інтервалу «гранично допустимих значень» первинних параметрів продукту. Проведене дослідження дозволяє охарактеризувати роль лабораторного контролю окремих параметрів інгредієнту для забезпечення стабільності якості готової продукції.

Ключові слова: якість продукції, методологія «критичне дерево якості», статистичний аналіз, конкурентоздатність, попкорн, тест Граббса.

Abstract. Introduction. Any production activity aims to achieve financial results and expand its activities to increase the volume of manufactured products. One of the most straightforward and often used approaches is an attempt to increase sales of ones products thanks to promotional products, which intensify production. However, it is a mistake to believe that with an increase in the number of products in the warehouse, its implementation will increase because the expansion of the geography of its implementation will lead to an increase in the pressure of competitors on the market. The product should be at least not at a higher price, but definitely of better quality to expand new markets. If ready-made technical solutions can solve the implementation of the first aspect, then the other – "product quality" must first be defined and described by the manufacturer, and only then steps to improve it developed. **The articles purpose** is to select quantitative product indicators, using the example of popcorn, to control its quality. **Methods.** In the process of research, a set of general scientific and unique methods was used for the validity of the provisions given in the article, in particular; historical and logical – in the study of theoretical definitions of the concepts of "quality" and "product quality"; laboratory methods – for measuring the diameter; mass and bulk density of popcorn flakes; statistical methods – for evaluating the obtained results and calculating the necessary ratios, integral indicators and intervals; analysis and synthesis – to compare the main approaches to the interpretation of research results; abstract-logical – for theoretical generalization and formulation of conclusions. **The results.** The study empirically confirmed the effectiveness of the "Critical to Quality Trees (CTQ)" methodology for building an input quality control algorithm for popcorn flakes with caramel and caramel and cocoa, while the quantitative characteristics of the product were highlighted on a level basis: weight, diameter, surface area, volume, sphericity index, proper density, bulk density, "product porosity" and "caramel distribution index". A statistical analysis of primary results and calculation of their ratios was carried out. It was established that the diameter and mass of popcorn play an essential role in the quality of this product and determine such indicators as accurate and bulk density, which will have a meaningful impact on the packaging of flakes and the appearance of consumer packaging. To evaluate the quality of the product, the authors proposed the "caramel distribution index", which allows the evaluation of the possible impact of the product on the general organoleptic evaluation of the consumer and, accordingly, the satisfaction of his expectations. In addition to the general assessment of product quality, an attempt was made to calculate a statistically reliable interval of "limit permissible values" of primary product parameters. For this, the reverse calculation of the Grubbs test for $n = 100$ was used. While this approach was successful for the indicator of popcorn diameter; for the mass of flakes, the obtained data are not acceptable for a production laboratory due to the significant value of the standard deviation of this indicator. Therefore, it is probably necessary to approximate available data and equate σ to the expression of the confidence interval. **Conclusions.** The conducted research allows us to characterize the role of laboratory control of individual parameters of the ingredient to ensure the stability of the quality of finished products. In addition, the publication offered by us draws attention to the need for constant updating and optimization of product control and the maximum increase in the quantitative measurements of parameters, ensuring the simplification of the interpretation of the obtained results. Therefore, it is essential to ensure the development of separate integral indicators of product quality, which will simultaneously provide an assessment of both physical parameters and organoleptic characteristics.

Keywords: product quality, "critical quality tree" methodology, statistical analysis, competitiveness, popcorn, test Grubbs.

Постановка проблеми. Будь-яка виробнича діяльність спрямована на досягнення фінансових результатів та розширення своєї діяльності для нарощування об'єму виготовленої продукції. Одним з найпростіших і часто застосовуваних підходів є спроба збільшення продажів власної продукції завдяки акційним товарів, що веде до інтенсифікації виробництва. Однак помилково вважати, що зі збільшенням кількості продукції на складі його реалізація зростає [1], адже розширення географії його реалізації зумовить зростання тиску конкурентів на ринку. Для експансії нових ринків товар повинен бути як мінімум не вищої ціни, але, безперечно, кращої якості [4]. Якщо реалізація першого аспекту може бути вирішено готовими технічними рішеннями, то інший – «якість продукції» повинна спочатку бути визначена і описана виробником і лише потім розроблені кроки для її покращення.

Для розгляду принципів оцінки якості необхідно встановити дефініцію терміну «якість». Нижче наведено ряд основних визначень цього поняття, які сформувалися в різні історичні епохи [30]:

1. Якість – це суттєва характеристика об'єкта, в силу якої він є саме ним, а не іншим об'єктом. Це трактування було основним аж до ХХ століття.

2. Якість – це один із суттєвих ознак, властивостей, особливостей, що характеризують даний об'єкт, наприклад, температура об'єкта, маса об'єкта, колір. У цьому сенсі якість може бути виражена за допомогою методів метрології та інших наук.

3. Якість – це сукупність властивостей об'єкта, які проявляють себе у процесі його використання за призначенням.

Саме тому, кожне підприємство повинне розробити і впровадити оцінку інгредієнтів та готової продукції на основі державних нормативних документів або власних напрацювань для забезпечення стабільної якості, а отже, і власної конкурентоздатності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Поняття «якість» у своїх наукових дослідженнях намагалися розкрити багато науковців: Зайцева Л.О. [4], Гребенюк М. [2], Зозуля І.В. [6], Кучер Ю.Е. і Логвиненко Н.І. [8] Ortiz М.С. та колеги [28], а також Закон України «Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів» [5] і міжнародні стандарти на кшталт ISO 9000:2000 [21] і ISO 8402:1994 [20]. В цих наукових працях розглянуто як в широкому сенсі поняття «якість», так і його застосування на практиці. Проте ґрунтовнішого розгляду потребує питання опису «якості» харчового продукту, вибору показників «якості» цього продукту та її кількісної оцінки, як результату об'єктивного аналізу вибірки продукту за допомогою лабораторного обладнання та статистичного аналізу.

Метою статті є підбір кількісних показників продукції, на прикладі попкорну, для контролю її якості.

Виклад основного матеріалу дослідження. Іншим важливим елементом для характеристики якості об'єктів дослідження є «властивість» – це риса, особливість, характеристика об'єкта, що виявляється під час його виробництва (створення) чи у споживанні (застосуванні, використанні, експлуатації) [7]. На сьогодні всі властивості об'єктів можна поділити на дві основні групи:

1) складні властивості – до їх складу входять такі властивості, які складаються з двох або більше власти-

востей нижчого порядку. Наприклад, таку властивість об'єкта, як «густина» можна розділити на дві прості властивості: маса та об'єм;

2) проста властивість – це така властивість, яку не можна розділити на властивості нижчого порядку, наприклад, довжина об'єкта.

Виходячи з цих визначень, сучасне поняття якості – складна властивість, що представляє собою сукупність всіх властивостей, які характеризують результати, що одержуються при споживанні об'єкта (як бажані, позитивні, так і небажані, негативні).

Останнім важливим терміном, який необхідно зрозуміти є «якість продукції», при цьому виділяють три напрями в трактуванні цього поняття:

– перший, ототожнюється з якоюсь одною визначальною властивістю продукції;

– другий, розглядає якість з точки зору відповідності кресленням, технічним умовам чи стандартам;

– третій, вивчає якість як комплекс окремих складових, які і формують якість корисних властивостей об'єкта.

Окрім цього, в ДСТУ 2925-94 «Якість продукції. Оцінювання якості. Терміни та визначення» виділено ще ряд важливих понять:

– головна якість – якість, що ототожнюється з якоюсь однією визначальною властивістю, що характеризує споживчу вартість цього продукту.

– інтегральна якість – якість, що визначається сукупністю всіх функціональних, естетичних та економічних властивостей продукту, тобто що виражається сукупністю споживчої вартості та сумарних витрат на виробництво і споживання цього продукту.

Ряд міжнародних стандартів включають в себе поняття «якості», першим з них є ISO 9000:2000 [21]. Згідно цього документу «якість – ступінь відповідності власних характеристик поставленим вимогам». Вказана дефініція не дозволяє розробити методи кількісної оцінки «якості» так як відсутній будь-який носій якості: продукт виробництва чи послуга. Згідно скасованого стандарту ISO 8402 [20] визначення терміну «якість» містило загальне поняття – «об'єкт» (entity).

В останній редакції документу ISO 9000:2015 [3] з'явилися розширенні поняття: «якість продукції та послуг організації визначається їхньою здатністю задовольнити споживачів та їх очікуванням та неочікуваним впливом на відповідні зацікавлені сторони. Якість продукції та послуг включає не тільки наявність у них очікуваних функцій і показників функціонування, але також те, як сприймає їх споживач з точки зору їх цінності для нього та набутої вигоди». Таким чином, у цій редакції документу здійснено повноцінне пояснення поняття «якість» з точки зору як функціоналу продукту чи послуги, так і їх сприйняття споживачем, а також впроваджено поняття «цінності» для консьюмера. Таким чином, з наведених вище визначень можна зробити висновок, що поняття «якість» не є тотожним терміну «якість продукції», а є значно ширшим і включає ряд додаткових вимог до продукту чи послуги.

Згідно [10], «оцінювання якості» – це кількісне чи якісне визначення ступеня відповідності окремих показників і якості загалом вимогам, які висуваються і які можуть бути описані в документах, кресленнях чи обумовлені споживачами. Для забезпечення об'єктивності оцінки якості продукції необхідно максимально забезпечити кількісне вираження цього параметру.

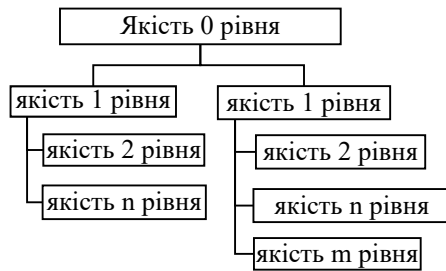


Рис. 1. Приклад «критичного дерева якості»

Першим кроком для побудови системи контролю якості є вибір якостей, які є визначальними та оцінка яких дозволить екстраполювати їх на весь продукт та зробити висновок щодо його відповідності. Для забезпечення цього розроблено методологію «критичне дерево якості» («Critical to Quality Trees (CTQ)»), яке являє собою ієрархію властивостей продукту (рис. 1).

На найнижчому або так званому «нульовому» рівні знаходиться найбільш узагальнена якість, яка являє собою комплекс властивостей продукту. Відповідно, на найвищому щаблі розміщені селективні якості, які характеризують виключно цей продукт.

Побудову «ієрархічного дерева якості» можна виразити у такому алгоритмі дій [35]:

1) формування переліку одиничних показників якості, які можуть бути суттєвими для оцінювання якості продукту;

2) поділ виділеної якості до найвищого рівня властивостей, який доцільно буде проаналізувати за допомогою інструментальних методів науки;

3) здійснити зворотній рух по розглянутих властивостях продукту для перевірки репрезентативності обраної характеристики для оцінки якості всього продукту.

Для повноцінної оцінки продукції за допомогою статистичного підходу в ієрархічну структуру якості необхідно додати ще два терміни:

– одиничний показник якості продукції – показник якості продукції, що стосується лише однієї властивості;

– комплексний показник якості продукції – показник якості продукції, що стосується кількох її властивостей.

Зрозуміло, що якість будь-якого об'єкту аналізу можна описати за допомогою нескінченно великої кількості його властивостей, саме тому у процесі побудови дерева якості необхідно дотримуватися двох емпіричних принципів, які забезпечать ефективність процесу. Першим принципом є необхідність опису якості об'єкту дослідження за допомогою максимально можливої кількості його властивостей. Дотримання цього принципу забезпечить максимальний опис властивостей продукту, що зумовить об'єктивну оцінку його якості. Іншим принципом є потреба у зменшенні кількості властивостей, що враховуються, щоб скоротити трудові та економічні витрати. У той же час цей принцип змушує працівників лабораторії до скрупульозного аналізу властивостей продукту, вказаних у ієрархічному дереві якості, для виділення якостей, які максимально ефективно характеризуватимуть об'єкт дослідження. Таким чином, необхідно знайти оптимальну кількість властивостей, яка зможе задовольняти вимоги в оцінці якості продукту та бути достатньою для об'єктивності цього процесу [14].

Для визначення необхідної кількості властивостей продукту для оцінки його якості необхідно встановити їх вплив на загальну величину якості продукції. Для реалізації цієї мети необхідно дотримуватися таких положень:

– властивості якості розглядаються як класифікаційна система згідно з ієрархічною багаторівневою структурою властивостей;

– основу класифікації становить ознака продукту, яка визначається метою оцінки, з якої починається оцінка якості;

– найменша кількість властивостей m рівня, які дозволяють максимально охарактеризувати якість продукту «0» рівня дозволить досягнути поставленої мети кваліметричного аналізу.

Якість харчової продукції визначається багатьма державними нормативними документами, тим не менш, вони не поширюються на вхідний контроль окремих продуктів, для цього підприємству необхідно побудувати власні CQT (рис. 2) та постійно їх адаптувати до вимог виробничого середовища. Прикладом такого продукту є попкорн покритий карамеллю та карамеллю з какао, який виробники можуть використовувати як додатковий інгредієнт до власної продукції – кондитерських виробів, як частина йогурту, тощо.

На основі схеми оцінки якості попкорну згідно рисунку 2 лабораторних вимірів потребують фізико-хімічні параметри продукту. Для реалізації вхідного контролю продукції проведено випадковий відбір 100 пластівців попкорну покритого карамеллю та 100 пластівців попкорну покритого карамеллю з какао.

Матеріали і методи дослідження. Вимір діаметра пластівців попкорну здійснено за допомогою електронного штангенциркуля з точністю до 0,01 мм. Для розрахунку об'єму і площі пластівців попкорну розраховано середнє значення цього параметру згідно формули (1):

$$d_{\text{середнє}} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^n d_i \quad (1)$$

Вимір маси (m) попкорну здійснено на аналітичних вагах з точністю до 0,0001 г.

Об'єм (V) пластівців попкорну розраховано згідно формули (2):

$$V_{\text{зерна попкорну}} = \frac{1}{6} \pi d_{\text{середнє}}^3 \quad (2)$$

Площа (S) пластівців попкорну розраховано згідно формули (3):

$$S_{\text{зерна попкорну}} = \pi d_{\text{середнє}}^2 \quad (3)$$

Індекс сферичності («the sphericity index») дозволяє оцінити наближеність форми зерна попкорну до сфери. Цей показник розраховано за допомогою модифікації рекомендацій Mohsenin N.N. [27] згідно формули (4):

$$\phi = \frac{d_{\text{середнє}}}{d_{\text{max}}} \quad (4)$$

Істинна густина $\rho_{\text{іст}}$ розрахована як співвідношення маси зерна попкорну до його об'єму (г/см^3) [11]

Насипна густина $\rho_{\text{насип}}$ розрахована як співвідношення маси пластівців попкорну до відомого об'єму який вони зайняли. Для реалізації цього дослідження використано мірний циліндр об'ємом 250 см^3 , який наповнювали до верхньої мітки двома типами попкорну і зважували [25; 32].

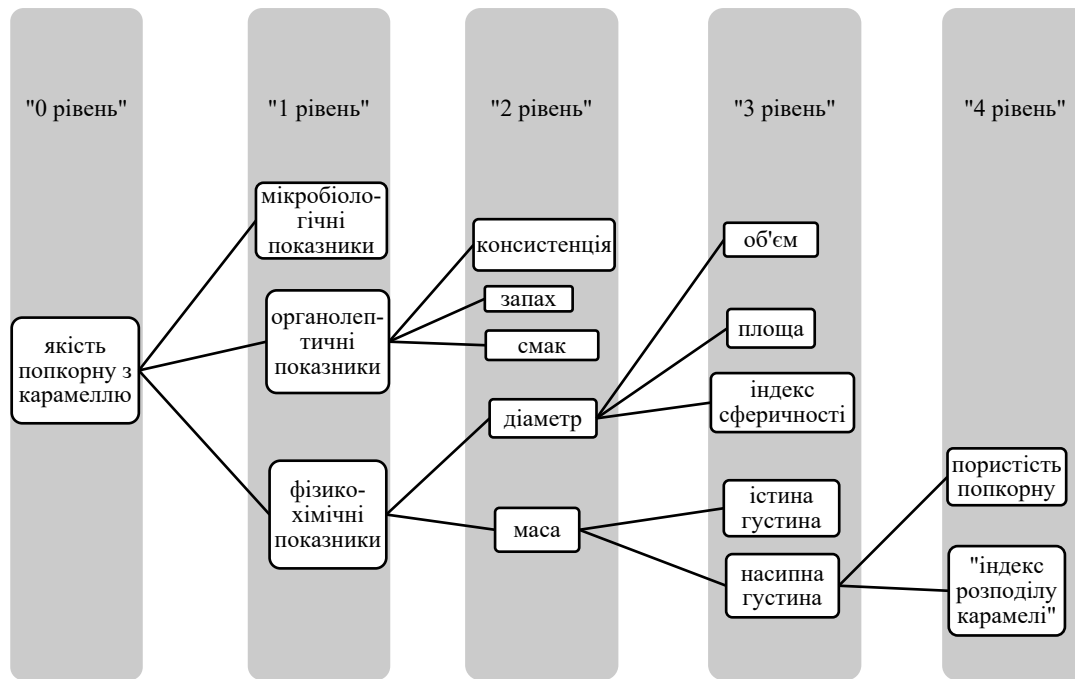


Рис. 2. Приклад формування CQI для вхідного контролю попкорну

Пористість продукту («the porosity of bulk») показує частку простору, яку не зайняв продукт в упаковці при щільному його пакуванні та розраховується згідно формули (5) [12; 24]:

$$\varepsilon = \frac{\rho_{\text{іст}} - \rho_{\text{насип}}}{\rho_{\text{іст}}} \quad (5)$$

«Індекс розподілу карамелі» (ζ) – показник розподілу карамелі по всій площі зерна попкорну, що дозволить оцінити якість виробництва продукту та окреслити потенційні скарги чи негативні відгуки від покупців. Показник розраховано згідно співвідношення (6):

$$\zeta = -\ln\left(\frac{m_{\text{попкорну}}}{S_{\text{попкорну}}}\right) \quad (6)$$

Обговорення результатів дослідження. Всі отримані дані були піддані статистичному аналізу – проведено тест Граббса (Grubbs test), для встановлення внутрішньорівневої мінливості та виявлення можливих винятків в отриманих даних [29]. Отримані дані тесту для об'єму зерна попкорну з карамеллю становили, відповідно, $G_{\text{max}} = 2,895$ і $G_{\text{min}} = 1,340$, тоді як для маси – $G_{\text{max}} = 1,868$ і $G_{\text{min}} = 1,319$. Щодо результатів аналогічного аналізу даних пластівців попкорну з карамеллю та какао, то тест Граббса даних об'єму взірців – $G_{\text{max}} = 2,009$ і $G_{\text{min}} = 1,906$, а маси – $G_{\text{max}} = 1,436$ і $G_{\text{min}} = 1,888$. Отримані результати знаходяться в межах тесту при $n = 100$ та $p \leq 0,05$ – 3,21 [18], що дозволяє використати всі первинні дані для подальших розрахунків.

Для представлення результатів розрахунків у таблиці 1 подано дані аналізу 15 взірців попкорну з карамеллю та вказано результати статистичного аналізу усіх 100 взірців продукту.

Для представлення результатів розрахунків у таблиці 2 подано дані аналізу 15 взірців попкорну з карамеллю та какао та вказано результати статистичного аналізу усіх 100 взірців продукту.

При порівнянні обраних характеристик попкорну двох типів можна зробити висновок про те, що виробник використовує зерна *Zea mays L. ssp. everta* Sturt. однакового розміру. На це вказують практично однакові значення середнього значення діаметру продукту, відповідно, $19,02 \pm 1,62$ мм для попкорну з карамеллю та $19,09 \pm 1,72$ мм для попкорну з карамеллю і какао. Математичним підтвердженням цього є результат перевірки двох вибірок значення діаметру пластівців згідно t-критерію Стьюдента, при цьому встановлено, що цей показник становить 0,788. Отриманий показник менше табличного значення при відповідному числу ступенів свободи [9], а отже, підтверджує відсутність достовірних розбіжностей між досліджуваними масивами даних. Таким чином, розраховані на їх основі площа та об'єм пластівців попкорну статистично не будуть відрізнятися і становитимуть, відповідно, $1,136 \pm 0,192$ см² і $3,681 \pm 0,945$ см³ для продукту з карамеллю та $1,154 \pm 0,210$ см² і $3,728 \pm 1,040$ см³ для продукту з карамеллю і какао.

Аналогічна ситуація і для іншого первинного показника продукту – маси. Так, середня вага зерна попкорну з карамеллю становить $0,9000 \pm 0,32$ г, а продукту з какао – $1,0692 \pm 0,33$ г, що підтверджує їх відповідність, при цьому t-критерію Стьюдента становить 0,12.

Щодо результатів оцінки інших показників «3 рівня» (рис. 2), то значення індексу сферичності для обох продуктів знаходиться в межах 0,9-1,0, відповідно, $0,93 \pm 0,06$ для карамелі та $0,914 \pm 0,04$ для карамелі з какао, що вказує на, практично, сферичну форму зерна. Такий критерій є вкрай важливим для забезпечення візуальної стабільності продукту для консьюмерів, а також роботи фасувального обладнання [17] і форми упаковки термінального продукту підприємства [19; 34].

Щодо істинної і насипної густини, то вона дещо вища в попкорні з какао, відповідно, $0,297 \pm 0,09$ г/см³ і $0,1150 \pm 0,0038$ г/см³, порівняно з продуктом лише з

Таблиця 1

Результати досліджень попкорну з карамеллю

№ п/п	d ₁ , мм	d ₂ , мм	d ₃ , мм	d _{сер} , мм	S, см ²	V, см ³	m, г	Ø, од	ρ _{іст} , г/см ³	ρ _{нас} , г/см ³	ζ, од
1	16,83	15,36	15,40	15,86	0,788	2,089	0,4778	0,94	0,229	-	0,501
2	20,95	19,82	21,17	20,65	1,337	4,606	0,5002	0,99	0,109		0,983
3	17,30	19,33	17,21	17,95	1,008	3,025	1,3374	0,93	0,442		-0,282
4	19,44	19,70	17,58	18,91	1,119	3,536	1,3612	0,97	0,385		-0,195
5	19,23	19,70	19,41	19,45	1,187	3,848	1,3717	0,99	0,356		-0,144
6	18,84	19,00	19,20	19,01	1,135	3,597	0,5641	0,99	0,157		0,699
7	16,53	22,51	25,80	21,61	1,418	5,283	0,7858	0,82	0,149		0,591
8	21,19	20,58	20,80	20,86	1,365	4,748	0,8740	0,98	0,184		0,446
9	16,40	19,33	18,58	18,10	1,024	3,104	0,8962	0,93	0,289		0,133
10	19,26	26,15	17,72	21,04	1,351	4,876	0,8424	0,79	0,173		0,472
11	18,06	18,55	15,29	17,30	0,933	2,709	0,6507	0,95	0,240		0,360
12	18,69	22,89	18,10	19,89	1,229	4,120	1,0895	0,86	0,264		0,120
13	18,30	21,48	18,09	19,29	1,161	3,756	1,4978	0,90	0,399		-0,255
14	17,79	18,24	18,18	18,07	1,025	3,087	0,7705	0,99	0,250		0,286
15	18,70	22,22	22,55	21,16	1,395	4,955	0,6980	0,93	0,141		0,693
середнє арифметичне				19,02	1,136	3,681	0,9	0,93	0,260	0,1013	0,406
середнє квадратичне відхилення				1,62	0,192	0,945	0,32	0,06	0,11	0,0046	0,231

Таблиця 2

Результати досліджень попкорну з карамеллю та какао

№ п/п	d ₁ , мм	d ₂ , мм	d ₃ , мм	d _{сер} , мм	S, см ²	V, см ³	m, г	Ø, од	ρ _{іст} , г/см ³	ρ _{нас} , г/см ³	ζ, од
1	17,81	14,21	16,48	16,17	0,814	2,183	0,4469	0,908	0,205	-	0,599
2	24,27	18,94	24,83	22,68	1,592	5,973	0,6058	0,934	0,101		0,966
3	16,93	21,40	18,04	18,79	1,098	3,420	1,0312	0,878	0,301		0,062
4	19,25	20,42	18,70	19,46	1,187	3,847	1,4773	0,953	0,384		-0,219
5	25,74	18,88	19,88	21,50	1,424	5,056	1,1307	0,835	0,224		0,231
6	22,51	20,13	24,75	22,46	1,573	5,869	1,3617	0,908	0,232		0,144
7	21,90	19,00	18,44	19,78	1,222	4,015	1,3295	0,903	0,331		-0,085
8	20,77	20,50	21,19	20,82	1,361	4,722	1,405	0,983	0,298		-0,032
9	16,46	20,08	16,49	17,68	0,972	2,852	1,1788	0,880	0,413		-0,192
10	16,20	21,12	17,98	18,43	1,054	3,219	1,339	0,873	0,416		-0,239
11	17,63	18,07	17,28	17,66	0,979	2,881	0,5718	0,977	0,198		0,538
12	19,40	19,16	15,14	17,90	0,993	2,945	1,0646	0,923	0,361		-0,069
13	18,98	19,48	18,16	18,87	1,118	3,514	1,2724	0,969	0,362		-0,130
14	17,19	20,04	21,18	19,47	1,181	3,818	1,4303	0,919	0,375		-0,191
15	19,22	18,39	20,15	19,25	1,162	3,727	0,7105	0,956	0,191		0,492
середнє арифметичне				19,09	1,154	3,728	1,0692	0,914	0,297	0,1150	0,261
середнє квадратичне відхилення				1,72	0,21	1,04	0,33	0,04	0,09	0,0038	0,239

кармеллю – $0,26 \pm 0,11$ г/см³ і $0,1013 \pm 0,0046$ г/см³. Такі розбіжності можна пояснити коливанням маси продукту, адже об'єм пластівців продукту, практично однаковий.

Результати розрахунку «пористості продукту» згідно формули (5) становлять 0,61 для обох типів продукту, що відповідає результатам теоретичних розрахунків упаковки твердих сфер [13; 22].

Неочікуваними, з точки зору відсутності статистично достовірних відмінностей діаметру попкорну та його маси, стали результати розрахунку середнього значення «індексу розподілу карамелі» за модулем, який для продукту без какао становив $0,406 \pm 0,231$, а з какао – $0,261 \pm 0,239$. Як вже зазначалося вище, ζ дозволяє оцінити розподіл карамелі по всій площі зерна попкорну, таким чином, якщо співвідношення маси та площі становить 1, то $\zeta = 0$. Відповідно, чим

більше значення «індексу розподілу карамелі» прямує до 1, тим менша маса карамелі розподілена на поверхні попкорну. Таким чином, можна припустити, що кількість карамелі з какао на поверхні зерна какао нанесено більше, порівняно з простою кармеллю, що змінює органолептичне відчуття пластівців кукурудзи, а також, ймовірно, і кінцевого продукту, де вони будуть використані. Окрім цього необхідно наголосити, що органолептичні відчуття споживача харчової продукції є вкрай важливими для конкурентоздатності на ринку, тому відповідність вимогам покупця та стабільна якість є визначальними для підприємства.

Окрім характеристики окремих параметрів продукту отримані масиви даних можна використати для встановлення «гранично допустимих значень» (ГДЗ) для попкорну. Для цього можна використати розрахунок

мінімальних і максимальних значень діаметру і маси зерна за допомогою тесту Граббса, прийнявши ряд умов:

– кількість досліджених пластівців попкорну при вхідному контролі не повинна бути менше 100;

– середнє значення діаметру для попкорну з карамеллю становить $19,02 \pm 1,62$ мм та $19,09 \pm 1,72$ мм – з какао. У разі зміни цього параметру, розрахунки необхідно проводити повторно;

– середнє значення маси зерна для попкорну з карамеллю становить $0,9000 \pm 0,32$ г та $1,0692 \pm 0,33$ г – з какао. У разі зміни цього параметру, розрахунки необхідно проводити повторно.

Як відомо [29], розрахунок тесту Граббса здійснюють за таким алгоритмом:

1) у наборі даних x_i ($i = 1, 2, \dots, n$), відсортованих у порядку зростання, щоб довести, чи найбільше значення спостереження, x_n , несумісне з іншими, проводяться такі статистичні дії:

$$G_{n, calc} = \frac{x_n - \bar{x}}{s} \quad (7)$$

2) навпаки, щоб перевірити, чи найменше спостереження, x_1 , значно відрізняється від інших, статистика G_1 обчислюється як:

$$G_{1, calc} = \frac{\bar{x} - x_1}{s} \quad (8)$$

У рівняннях (7) та (8), x і s є, відповідно, середнім значенням вибірки і стандартним відхиленням x_i .

Так, як ми знаємо, що при $p \leq 0,05$ та $n = 100$ значення тесту не повинно перевищувати 3,21, довірчий інтервал для попкорну з карамеллю становить від 13,6 мм до 24,44 мм, а для попкорну з какао – 13,57 мм – 24,61 мм. При аналогічному розрахунку меж для маси продукту отримані дані не є прийнятними для виробничої лабораторії через велике значення стандартного відхилення цього показника, тому, ймовірно, необхідно апроксимувати наявні дані і прирівняти σ до вираження довірчого інтервалу. Також необхідно зазначити, що через розрахунок простих статистичних даних можна отримати інформацію щодо якості виробництва цього інгредієнту, а отже, оцінити його відповідність вимогам підприємства.

Визначення вказаних на рис. 2 показників попкорну є вкрай важливими для забезпечення стабільної якості продукту, адже відомо, що гранульовані матеріали в природі мають тенденцію до неправильної форми, що сильно впливає на характеристики упаковки [36]. Попкорн – це частинки неправильної форми, для яких надзвичайно важлива упаковка частинок. Для цього продукту низька насипна густина є бажаною для споживачів [26] і збільшує прибутки для комерційних закладів, таких як кінотеатри, де попкорн купують на вагу та продають за об'ємом [16]. Попередні дослідження показали, що на зміну насипної густини попкорну впливає багато факторів, зокрема розмір пластівців [15], істинна густина пластівців [31] та вільний простір між ядрами [33]. Хоча експерименти з моделюванням з іншими частинками показали, що форма впливає на зміну насипної густини [23], але роль, яку відіграє форма пластівців попкорну в цьому, вичерпно не описана.

Висновки. Проведене дослідження надало теоретичну основу побудови алгоритму оцінки якості про-

дукції на прикладі методології «критичне дерево якості» («Critical to Quality Trees (CTQ)»). На основі цього підходу створено схему вхідного контролю якості пластівців попкорну з карамеллю та карамеллю і какао, при цьому по-рівнево виділено кількісні характеристики продукту: маса, діаметр, площа поверхні, об'єм, індекс сферичності, істинна густина, насипна густина, «пористість продукту» та «індекс розподілу карамелі».

На основі статистичного аналізу отриманих даних встановлено, що:

– діаметр пластівців попкорну з двома типами карамелі достовірно не відрізняється між собою, а тому можна стверджувати, що виробник використовує зерна *Zea mays L. ssp. everta* Sturt одного типу. Окрім цього, такий ж висновок про статистичну відповідність можна екстраполювати як і на показники площі поверхні, так і об'єму пластівців;

– незважаючи на незначну, за абсолютним значенням, різницю в масі пластівців продукту, вона вплинула на показник істинної та насипної густини попкорну, що матиме важливий вплив при його фасуванні та зовнішньому вигляді упакованого кінцевого продукту;

– запропонований авторами «індекс розподілу карамелі» дозволяє оцінити можливий вплив продукту на загальну органолептичну оцінку споживача та, відповідно, задоволення його очікування. Так, як цей показник для попкорну з какао у 1,56 рази менший, порівняно з пластівцями з карамеллю, можна припустити, що покриття попкорну карамеллю з какао є стабільним процесом, а, отже, продукт володітиме характеристиками з низьким значенням розмаху, тому і органолептичні показники матимуть сталий характер.

Окрім загальної оцінки якості продукту здійснена спроба розрахунку статистично достовірного інтервалу «гранично допустимих значень» первинних параметрів продукту – діаметру пластівців та їх маси. Для цього використано зворотній розрахунок тесту Граббса для $n = 100$, при цьому для показника діаметру попкорну такий підхід був успішний, тоді як для маси пластівців отримані дані не є прийнятними для виробничої лабораторії через велике значення стандартного відхилення цього показника, тому, ймовірно, необхідно апроксимувати наявні дані і прирівняти σ до вираження довірчого інтервалу.

Таким чином, описаний вище підхід з виділенням кількісних характеристик продукту забезпечить ефективний підхід до контролю якості продукції та забезпечення її стабільних органолептичних характеристик, що є вкрай важливими для конкурентоздатності на ринку, тому відповідність вимогам покупця та стабільна якість є визначальними для підприємства.

Перспективи подальших досліджень. Проведене дослідження дозволяє охарактеризувати роль лабораторного контролю окремих параметрів інгредієнту для забезпечення стабільності якості готової продукції. Окрім цього, пропонується нами публікація привертає увагу до необхідності постійної актуалізації та оптимізації контролю продукту та максимального збільшення кількісних вимірів параметрів, що забезпечить спрощення інтерпретації отриманих результатів. Тому вкрай важливо забезпечити розробку окремих інтегральних показників якості продукту, які забезпечать одночасно оцінку як фізичних параметрів, так і органолептичної характеристики.

Бібліографічний список:

1. Башук Г.О. Економіко-інноваційна модель конкурентоспроможності продукції в Україні. *Економіка & держава*. 2013. № 6. С. 102–106.
2. Гребенюк М. Сучасна концепція здорового та раціонального харчування—складова системи забезпечення продовольчої безпеки України. *Підприємництво, господарство і право*. 2013. № 6. С. 41–45.
3. ДСТУ ISO 9000:2015 Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів (ISO 9000:2015, IDT).
4. Зайцева Л.О. Якість продукції – необхідна передумова конкурентоспроможності підприємства. *Актуальні проблеми економіки*. 2014. № 9. С. 196–200.
5. Закон України «Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/771/97-%D0%B2%D1%80#Text>
6. Зозуля І.В. Безпечність та якість продуктів в Україні в умовах євроінтеграції: питання удосконалення законодавства. *Форум права: електрон. наук. фахове вид.* 2017. № 4. С. 80–86. URL: https://dspace.univd.edu.ua/xmlui/bitstream/handle/123456789/2678/Safety%20and%20Quality%20of%20Products%20in%20Ukraine_Zozulya%20I%20V_2017.pdf?sequence=2&isAllowed=y
7. Куць В.Р., Столярчук П.Г., Друзюк В.М. Кваліметрія : навчальний посібник. Львів, 2012. 256 с.
8. Кучер Ю.Е., Логвиненко Н.І. Основні заходи поліпшення якості та безпеки харчової продукції. *Економіка і Суспільство*. 2017. № 13. С. 558–561.
9. Горонескуль М.М. Таблиці функцій та критичних точок розподілів. Харків : ВЦЗУ, 2009. С. 13. URL: <http://repositc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/1530/1/Tablici.pdf>
10. Ціж Б.Р., Байцар Р.І. Основи кваліметрії. Львів : ФОП Корпан Б.І., 2008. 110 с.
11. Baryeh E.A. Physical properties of Bambara groundnuts. *Journal of Food Engineering*. 2001. Vol. 47. P. 321–326.
12. Baryeh E.A., Mangope B.K. Some physical properties of QP 38 variety pigeon pea. *Journal of Food Engineering*. 2002. Vol. 56. P. 341–347.
13. Berryman J.G. Random close packing of hard spheres and disks. *Phys. Rev. A*. 1983. Vol. 27. № 2. P. 1053–1061.
14. De Koning H., De Mast J. The CTQ Flowdown as a Conceptual Model of Project Objectives. *Quality Management Journal*. 2007. Vol. 14. Issue 2. P. 19–28.
15. Dofing S.M., Thomas-Compton M.A., Buck J.S. Genotype x popping method interaction for expansion volume in popcorn. *Crop Science*. 1990. Vol. 30. P. 62–65.
16. Song A. Effects of kernel size and genotype on popcorn popping volumes and number of unpopped kernels. *Cereal Chemistry*. 1991. Vol. 68. P. 464–467.
17. Esrif I., Halil Ü. Moisture-dependent physical properties of white speckled red kidney bean grains. *Journal of Food Engineering*. 2007. Vol. 82. P. 209–216.
18. Grubbs test. URL: <http://www.sediment.uni-goettingen.de/staff/dunkl/software/pep-grubbs.pdf>
19. Donev A. Improving the density of jammed disordered packings using ellipsoids. *Science*. 2004. Vol. 303. P. 990–993.
20. ISO 8402:1994. Quality management and quality assurance. Geneva: International Organisation for Standardisation, Switzerland, 1994. 39 p.
21. ISO 9000:2000. Quality management systems. Geneva: International Organisation for Standardisation, Switzerland. 2000. 39 p.
22. Jalali P., Li M. An estimate of random close packing density in monodisperse hard spheres. *J. Chem. Phys.* 2004. Vol. 120. № 2. P. 1138–1139.
23. Jia X., Gan M., Williams R.A., Rhodes D. Validation of a digital packing algorithm in predicting powder packing densities. *Powder Technology*. 2007. Vol. 174. P. 10–13.
24. Karababa E. Physical properties of popcorn kernels. *Journal of Food Engineering*. 2006. Vol. 72. P. 100–107.
25. Karababa E., Coşkun Y. Some physical properties of flaxseed (*Linum usitatissimum* L.). *Journal of Food Engineering*. 2007. Vol. 78. P. 1065–1073.
26. Levy B. A new perspective on popcorn. *Snack World*. 1988. Vol. 45. P. 24.
27. Mohsenin N.N. Physical properties of plant and Animal materials. *New York: Gordon and Breach Science Publishers*. 1980. P. 51–87.
28. Ortiz M.C., Sarabia L.A., Sánchez M.S., Herrero A. Quality of Analytical Measurements: Statistical Methods for Internal Validation. *Chemical and Biochemical Data Analysis. Spain: Elsevier*. 2020. P. 1–52.
29. Ortiz M.C., Herrero A., Sanllorente S., Reguera C. The Quality of the Information Contained in Chemical Measures. Servicio de Publicaciones Universidad de Burgos: Burgos, 2005. 258 p.
30. Rhodes I.B. Some quantitative measures of controllability and observability and their implications. *Contr. Int. Fed. Autom. Contr.* 1981. P. 24–28.
31. Sweley J.C., Rose D.J., Jackson D.S. Hybrid and environment effects on popcorn kernel physiochemical properties and their relationship to microwave popping performance. *Journal of Cereal Science*. 2012. Vol. 55. P. 188–194.
32. Teye E., Abano E.E. Physical properties of two varieties of sweet potato grown in the coastal savannah zone of Ghana. *International Journal of Science and Nature*. 2012. Vol. 3 (1). P. 105–109.
33. Tian Y., Buriak P., Eckhoff S.R. Effect of hybrid and physical properties of individual popcorn kernels on expansion volume. *Cereal Chemistry*. 2001. Vol. 78. P. 578–582.
34. Torquato S., Jiao Y. Dense packings of the Platonic and Archimedean Solids. *Nature Letters*. 2009. Vol. 460. P. 876–879.
35. Van Dooren P. The generalized eigenstructure problem in linear systems theory. *IEEE Trans. on Autom. Control*. 1981. V. AC-26. № 1. P. 111–129.
36. Yu A.B., Zoh R.P. Modifying the linear packing model for predicting the porosity of nonspherical particle mixtures. *Industrial Engineering & Chemical Research*. 1996. Vol. 35. P. 3730–3741.

References:

1. Bashuk H. O. (2013) Ekonomiko-innovatsijna model konkurentospromozhnosti produktsii v Ukraini [Economic and innovative model of product competitiveness in Ukraine]. *Ekonomika & derzhava*, no. 6, pp. 102–106.

2. Hrebeniuk M. (2013) Suchasna kontsepsiia zdorovoho ta ratsionalnoho kharchuvannia – skladova systemy zabezpechennia prodovolchoi bezpeky Ukrainy [The modern concept of healthy and rational nutrition is a component of the food security system of Ukraine]. *Pidpriemnytstvo, hospodarstvo i parvo*, no. 6, pp. 41–45.
3. DSTU ISO 9000:2015 Systemy upravlinnia iakistiu. Osnovni polozhennia ta slovnyk terminiv (ISO 9000:2015, IDT) [DSTU ISO 9000:2015 Quality management systems. Basic provisions and glossary of terms (ISO 9000:2015, IDT)].
4. Zajitseva L. O. (2014) Yakist produktsii – neobkhidna peredumova konkurentospromozhnosti pidpriemstva [Product quality is a necessary prerequisite for enterprise competitiveness]. *Aktualni problemy ekonomiky*, no. 9, pp. 196–200.
5. Zakon Ukrainy "Pro osnovni pryntsyty ta vymohy do bezpechnosti ta iakosti kharchovykh produktiv" [Law of Ukraine "On Basic Principles and Requirements for the Safety and Quality of Food Products"]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/771/97-%D0%B2%D1%80#Text>
6. Zozulia I. V. (2017) Bezpechnist ta iakist produktiv v Ukraini v umovakh ievrointehratsii: pytannia udoskonalennia zakonodavstva [Safety and quality of products in Ukraine in the context of European integration: the issue of improving legislation]. *Forum prava: elektron. nauk. fakhove vyd.*, no. 4, pp. 80–86. Available at: https://dspace.univd.edu.ua/xmlui/bitstream/handle/123456789/2678/Safety%20and%20Quality%20of%20Products%20in%20Ukraine_Zozulya%20I%20V_2017.pdf?sequence=2&isAllowed=y
7. Kuts V. R., Stoliarchuk P. H., Druziuk V. M. (2012) *Kvalimetriia: navchalnyj posibnyk* [Qualimetry: a study guide]. Lviv.
8. Kucher Yu. E., Lohvynenko N. I. (2017) Osnovni zakhody polipshennia iakosti ta bezpeky kharchovoi produktsii [The main measures to improve the quality and safety of food products]. *Ekonomika i Suspilstvo*, no.13, pp. 558–561.
9. Horoneskul M. M. (2009) Tablytsi funktsij ta krytychnykh tochok rozpodiliv [Tables of functions and critical points of distributions]. Kharkiv: UTsZU, pp. 13. Available at: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/1530/1/Tablici.pdf>
10. Tsih B.R., Bajtsar R.I. (2008) *Osnovy kvalimetrii* [Fundamentals of qualimetry]. Lviv: FOP Korpan B.I.
11. Baryeh E. A. (2001) Physical properties of Bambara groundnuts. *Journal of Food Engineering*, vol. 47, pp. 321–326.
12. Baryeh E. A., Mangope B. K. (2002) Some physical properties of QP 38 variety pigeon pea. *Journal of Food Engineering*, vol. 56, pp. 341–347.
13. Berryman J. G. (1983) Random close packing of hard spheres and disks. *Phys. Rev. A*, vol. 27, no. 2, pp. 1053–1061.
14. De Koning H., De Mast J. (2007) The CTQ Flowdown as a Conceptual Model of Project Objectives. *Quality Management Journal*, vol. 14, issue 2, pp. 19–28.
15. Dofing S. M., Thomas-Compton M. A., Buck J. S. (1990) Genotype x popping method interaction for expansion volume in popcorn. *Crop Science*, vol. 30, pp. 62–65.
16. Song A. (1991) Effects of kernel size and genotype on popcorn popping volumes and number of unpopped kernels. *Cereal Chemistry*, vol. 68, pp. 464–467.
17. Esrif I., Halil Ü. (2007) Moisture-dependent physical properties of white speckled red kidney bean grains. *Journal of food Engineering*, vol. 82, pp. 209–216.
18. Grubbs test [Grubbs test]. Available at: <http://www.sediment.uni-goettingen.de/staff/dunkl/software/pep-grubbs.pdf>
19. Donev A. (2004) Improving the density of jammed disordered packings using ellipsoids. *Science*, vol. 303, pp. 990–993.
20. ISO 8402:1994. Quality management and quality assurance. Geneva: International Organisation for Standardisation [ISO 8402:1994. Quality management and quality assurance. Geneva: International Organization for Standardization] (1994). Switzerland.
21. ISO 9000:2000. Quality management systems. Geneva: International Organisation for Standardisation [ISO 9000:2000. Quality management systems. Geneva: International Organization for Standardization] (2000). Switzerland.
22. Jalali P., Li M. (2004) An estimate of random close packing density in monodisperse hard spheres. *J. Chem. Phys.*, vol. 120, no. 2, pp. 1138–1139.
23. Jia X., Gan M., Williams R.A., Rhodes D. (2007) Validation of a digital packing algorithm in predicting powder packing densities. *Powder Technology*, vol. 174, pp. 10–13.
24. Karababa E. (2006) Physical properties of popcorn kernels. *Journal of Food Engineering*, vol. 72, pp. 100–107.
25. Karababa E., Coşkuner Y. (2007) Some physical properties of flaxseed (*Linum usitatissimum* L.). *Journal of food Engineering*, vol. 78, pp. 1065–1073.
26. Levy B. (1988) A new perspective on popcorn. *Snack World*, vol. 45, pp. 24.
27. Mohsenin N. N. (1980) Physical properties of plant and Animal materials. *New York: Gordon and Breach Science Publishers*, pp. 51–87.
28. Ortiz M. C., Sarabia L. A., Sánchez M. S., Herrero A. (2020) Quality of Analytical Measurements: Statistical Methods for Internal Validation. *Chemical and Biochemical Data Analysis. Spain: Elsevier*, pp. 1–52.
29. Ortiz M. C., Herrero A., Sanllorente S., Reguera C. (2005) The Quality of the Information Contained in Chemical Measures [The Quality of the Information Contained in Chemical Measures]. Servicio de Publicaciones Universidad de Burgos: Burgos.
30. Rhodes I. B. (1981) Some quantitative measures of controllability and observability and their implications. *Contr. Int. Fed. Autom. Contr.*, pp. 24–28.
31. Sweley J. C., Rose D. J., Jackson D. S. (2012) Hybrid and environment effects on popcorn kernel physiochemical properties and their relationship to microwave popping performance. *Journal of Cereal Science*, vol. 55, pp. 188–194.
32. Teye E., Abano E. E. (2012) Physical properties of wo varieties of sweet potato grown in the coastal savannah zone of Ghana. *International Journal of Science and nature*, vol. 3 (1), pp. 105–109.
33. Tian Y., Buriak P., Eckhoff S. R. (2001) Effect of hybrid and physical properties of individual popcorn kernels on expansion volume. *Cereal Chemistry*, vol. 78, pp. 578–582.
34. Torquato S., Jiao Y. (2009) Dense packings of the Platonic and Archimedean Solids. *Nature Letters*, vol. 460, pp. 876–879.
35. Van Dooren P. (1981) The generalized eigenstructure problem in linear systems theory. *IEEE Trans. on Autom. Control*, V. AC-26, no. 1, pp. 111–129.
36. Yu A. B., Zoh R. P. (1996) Modifying the linear packing model for predicting the porosity of nonspherical particle mixtures. *Industrial Engineering & Chemical Research*, vol. 35, pp. 3730–3741.

Стаття надійшла до редакції 15.09.2023