

## КІНЕТИЧНА МОДЕЛЬ ЗМІНИ ЯКОСТІ НОВІТНІХ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

**І. М. Силка**, кандидат технічних наук, асистент, *Email: irinasilka@ukr.net*  
кафедра технології харчування та ресторанного бізнесу\*

**Н. Е. Фролова**, кандидат технічних наук, доцент, *Email: nef1957@mail.ru*  
кафедри технології харчових продуктів\*

**В. С. Гуць**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри безпеки життєдіяльності\*  
\*Національний університет харчових технологій, Україна, 01601, м. Київ-33, вул. Володимирська 68

**Анотація.** Встановлення строку придатності готової продукції вимагає тривалих досліджень. Використання методів моделювання у даному випадку дозволяє за короткий проміжок часу отримати необхідні дані та спрогнозувати тривалість зберігання харчового продукту. Нативні інгредієнти скорочують термін реалізації харчових продуктів, що їх містять. Це одна з основних причин обмеженого асортименту натуральних ароматизаторів на ринку України. В статті розглянуто натуральний ароматизатор «Кминний», що складається з компонентів ефірних олій, представлений як багатопараметрична різнопрофільна система. Дослідження стабільності ароматизатору проводили на дев'яти зразках протягом двох років при сприятливих та несприятливих умовах зберігання. Якість ароматизатора виражали як багатокутник якості, на променах якого відкладено значення вмісту ароматичної складової.

Оскільки при зберіганні змінюється компонентний склад ароматизатора, то на кожному етапі отримано різні багатокутники якості. Площа даних багатокутників з часом зменшується і досягає мінімально допустимої, при якій якості ароматизатора визначається як незадовільна. На основі отриманих даних побудовано графічні залежності зміни площі багатокутника якості ароматизатора «Кминний» у часі та складено математичні моделі.

**Ключові слова:** харчові продукти, строк придатності, якість, натуральні ароматизатори, кінетична модель.

## КИНЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИЗМЕНЕНИЯ КАЧЕСТВА НОВЫХ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

**И. Н. Сылка**, кандидат технических наук, ассистент, *Email: irinasilka@ukr.net*  
кафедра технологии питания и ресторанного бизнеса\*

**Н. Э. Фролова**, кандидат технических наук, доцент, *Email: nef1957@mail.ru*  
кафедра технологии пищевых продуктов\*

**В. С. Гуць**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой безопасности жизнедеятельности\*  
\*Национальный университет пищевых технологий, Украина, 01601, г. Киев-33, ул. Владимирская 68

**Аннотация.** Определение срока годности готовой продукции требует длительных исследований. Использование методов моделирования в данном случае позволяет в короткий срок получить необходимые данные и спрогнозировать продолжительность хранения пищевого продукта. Нативные ингредиенты сокращают срок реализации пищевых продуктов. Это является одной из основных причин ограниченного ассортимента натуральных ароматизаторов на рынке Украины. В статье рассмотрен натуральный ароматизатор «Тминный», состоящий из компонентов эфирных масел, представленный как многопараметрическая разнопрофильная система. Исследование стабильности ароматизатора проводили на девяти образцах в течение двух лет при благоприятных и неблагоприятных условиях хранения. Качество ароматизатора выражали как многоугольник качества, в котором отложено значение содержания ароматической составляющей.

При хранении изменяется компонентный состав ароматизатора, соответственно на каждом этапе получены различные многоугольники качества. Площадь данных многоугольников со временем уменьшается и достигает минимально допустимой. На основе полученных данных построены графические зависимости изменения площади многоугольников качества ароматизатора «Тминный» во времени и составлены математические модели.

**Ключевые слова:** пищевые продукты, срок годности, качество, натуральные ароматизаторы, кинетическая модель.



Copyright © 2015 by author and the journal "Food Science and Technology".

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

### Вступ

Вимоги споживачів сприяють впровадженню нових принципів продовження строку придатності і уточненню та розробленню нових методів і процедур дослідження факторів впливу на якість продукту. На сьогоднішній день очевидним є відсутність науково обґрунтованих методів моделювання якості харчових продуктів та прогнозування терміну їх придатності. Незважаючи на велику кількість математичних моде-

лей залишається головною проблемою прив'язка їх до конкретного продукту.

Оптимізація умов зберігання продукції потребує інформації для швидкого визначення строку придатності. Це має велике значення для маркування, організації зберігання, збуту харчових продуктів та дослідження можливостей пролонгувати термін їх зберігання. Тому використання методів прогнозування дає можливість значно скоротити отримання необхідних даних з метою визначення їх адекватності.

**Постановка проблеми та її зв'язок з практичними завданнями**

Усе більшої популярності набувають новітні харчові продукти, до складу яких входять нативні інгредієнти, в тому числі й натуральні ароматизатори. Роль ароматизатора у комплексному підході створення нового продукту полягає у формуванні сенсорного іміджу продукту. Однією з основних причин малої кількості натуральних ароматизаторів та продуктів з їх вмістом на ринку України є недовговічний строк придатності та відсутність методів його визначення.

Виробники новітніх харчових продуктів проводять відповідні тривалі дослідження для визначення їх строку придатності. Вказана дата чи термін передбачають дотримання належних умов зберігання перед його реалізацією чи споживанням.

**Огляд літератури**

Прогнозування строку придатності базується на фундаментальних принципах процесу втрати якості харчовим продуктом [1,2]. Для збору експериментальних даних і оцінки строку придатності харчових продуктів використовуються наступні підходи:

- оцінка строку придатності продукту на основі опублікованих даних;
- використання даних про термін реалізації аналогічних за властивостями продуктів;
- розгляд скарг споживачів для виявлення існуючих проблем з якістю;
- прискорене тестування строку придатності ASLT (Accelerated Shelf-Life Testing).

Натуральними ароматизаторами, за визначенням Кодексу аліментаріус [3], називаються хімічні сполуки, виділені фізичними процесами (включаючи дистиляцію і сольвентну екстракцію), ферментними або мікробіологічними процесами з матеріалів рослинного чи тваринного походження, або в сирому стані чи після оброблення традиційними процесами приготування їжі (включаючи сушіння, смаження, бродіння). До них належать прянощі, ефірні олії, екстракти ароматів, біоароматизатори (отримані внаслідок мікробіологічних процесів).

Для повної оцінки змін показників якості ароматизатора необхідно знати закономірності їх протікання. В основі таких закономірностей лежать сучасні методи моделювання [4]. Враховуючи, що зміни показників якості продукції проходять в процесі її зберігання і є функцією часу, моделі повинні будуватися за законами кінетичного моделювання.

**Аналіз зміни якості натуральних ароматизаторів та створення кінетичної моделі встановлення їх строку придатності**

У роботі використано й узагальнено матеріали досліджень строку придатності натуральних ароматизаторів з ефіроолійної сировини на прикладі ароматизатору «Кминний» [5]. Головна мета роботи по-

лягає у створенні математичної моделі визначення строку придатності натуральних ароматизаторів та харчових продуктів з їх вмістом.

Для досягнення поставлених задач були використані наступні методи дослідження: органолептичні, газохроматографічні, фізико-хімічні стандартні й апробовані в ефіроолійному виробництві напівпродуктів та готових продуктів, згідно існуючих стандартів України (ДСТУ 2729-94, ДСТУ ISO 279-2002, ДСТУ ISO 280-2002, ДСТУ ISO 11024-1:2005), методи математичного моделювання та статистичного опрацювання дослідних даних з використанням комп'ютерних прикладних програм: Microsoft Office Excel 2007, AutoCAD 2008.

Для прогнозування строку придатності ароматизатора в реальних умовах модель повинна включати лише ті фактори, які мають вплив при зберіганні, а саме температура, дія кисню та світла, наявність продуктів взаємодії ароматичних речовин та їх деградації.

Натуральний ароматизатор – це, насамперед складна суміш ароматичних речовин, тому пропонується розглядати його як багатопараметричну систему. На прикладі натурального ароматизатора «Кминний» була розроблена математична модель визначення строку придатності.

Ароматизатор «Кминний» є композиційним ароматизатором до складу якого входять фракції ефірної олії кмину у певних співвідношеннях згідно проекту ТУ У 02070938103:2010 «Ароматизатори натуральні з ефіроолійної сировини». Вміст ароматичних речовин представлено у табл. 1.

**Таблиця 1 – Склад концентрованого ароматизатора «Кминний»**

Назва ароматичної речовини	Умове позначення ароматичної речовини	Вміст ароматичної речовини, %
α-пінен	P <sub>10</sub>	1,8–3,0
мірцен	P <sub>20</sub>	1,5–2,5
d-ліналоол	P <sub>30</sub>	5,0–6,2
p-цимол	P <sub>40</sub>	0,2–0,8
цинеол	P <sub>50</sub>	1,5–2,5
d-лімонен	P <sub>60</sub>	28,5–30,6
α-терпінеол	P <sub>70</sub>	2,2–3,0
карвон	P <sub>80</sub>	52,0–55,0

Оцінка багатопараметричної різнопрофільної системи складається з декількох етапів [7-8]. Узагальнений показник якості (продукту, функціонування системи або об'єкту) можна представити за допомогою наступного виразу:

$$K_{\text{уля}} = M_1 K_{\text{кля}1} + M_2 K_{\text{кля}2} + \dots + M_i K_{\text{кля}i}, \quad (1)$$

де M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, ..., M<sub>i</sub> – вагомість різнопрофільних показників, наприклад, хімічний склад, технологія, яка застосовується, упаковка, маркетингова стратегія та ін. M<sub>1</sub>+M<sub>2</sub>+...+M<sub>i</sub>=1. K<sub>i</sub> – показник якості за конкретним профілем. Він може бути в одиницях виміру характер-

них для вибраного продукту, чи у відносних одиницях. Наприклад, якщо це стосується вмісту хімічних речовин – в кілограмах, коли йде порівняння різних величин (метр, секунда, міліметри та ін.). В якості відносної величини приймаємо одиницю, десять, сто і далі, тобто всі величини приводимо до безрозмірного виду [6].

У попередніх дослідженнях нами було простежено за змінами фізико-хімічних показників (зокрема кислотне число), що характеризує зміну хімічного складу [7]. Це дозволяє розробити нову кінетичну модель процесу змін показників якості, яка включає в себе всі фактори, які впливають на швидкість накопичення негативних чинників. У даній роботі якість ароматизаторів визначаємо за їхніми складовими (ароматичні речовини, які кількісно змінюються). Маємо однопрофільний випадок  $M_1 \neq 0; M_2, M_3, \dots, M_n = 0$ . Вважаємо, що якість продукту визначає сумарна кількість і вагомість компонентів, які його складають. Позначимо  $P_{10}$  – відносна кількість  $\alpha$ -пінену,  $P_{20}$  – відносна кількість мірцену і далі (табл. 1). Компонентів повинно бути не менше трьох. Будемо багатокутник якості: відкладаємо на променях 1, 2, 3, ... n величини  $P_{10}, P_{20}, P_{30}, \dots, P_n$  (можна збільшувати чи зменшувати їх значення за допомогою коефіцієнта вагомості) [8]. На рис. 1 представлено багатокутник якості контрольного зразка ароматизатора «Кминний», на променях якого відкладено відносне значення вмісту ароматичної речовини в ароматизаторі, тобто відношення кількості ароматичної речовини у аналізованому зразку до її кількості в контрольному. Багатокутник якості контрольного зразка можна назвати одиничним, оскільки

відносне значення кожного компонента рівне одиниці та є безрозмірною величиною.

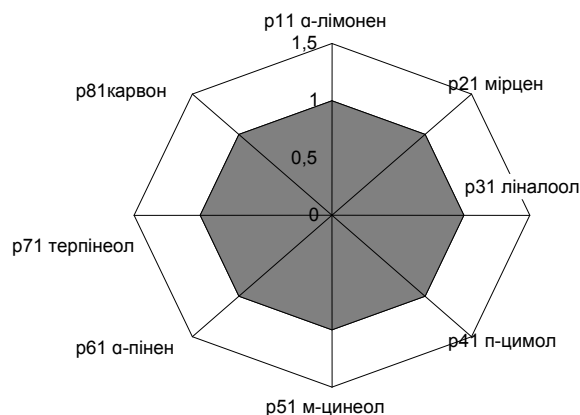


Рис. 1. Багатокутник якості контрольного зразка ароматизатора «Кминний»

Наступним кроком було простеження ступеню зміни стану висококонцентрованого ароматизатора. Дослідження стабільності ароматизатора «Кминний» проводили протягом двох років при різних умовах зберігання на 9 зразках, які зберігалися в темному посуді з мінімальним об'ємом повітря для зменшення впливу кисню та вивітрювання ароматичних речовин. Для оцінки і порівняння показників якості зразків ароматизаторів проведено фізико-хімічні та газохроматографічні дослідження на певних етапах зберігання, результати яких наведені у табл. 2.

Таблиця 2 – Зміна складу ароматизатора «Кминний» при зберіганні

Номер серії	Вміст компонентів ароматизатора, % мас								Тривалість зберігання
	$\alpha$ -пінен	Мірцен	d-ліналоол	Цимол	Ци-неол	d-лімонен	$\alpha$ -терпінеол	Карвон	
Контрольний зразок	2,18	2,34	5,79	0,29	1,56	30,80	2,18	54,91	–
Зберігання при 0...+4°C без доступу світла	2,18	2,34	5,79	0,29	1,56	30,75	2,18	54,91	1міс
	2,18	2,34	5,79	0,29	1,56	30,75	2,18	54,91	3міс
	2,18	2,34	5,79	0,29	1,56	30,75	2,18	54,91	6міс
	2,17	2,32	5,8	0,3	1,56	30,75	2,19	54,91	12міс
	2,16	2,3	5,82	0,3	1,56	30,18	2,2	55,48	24міс
Зберігання при 0...+4°C з доступом світла	2,18	2,34	5,79	0,29	1,56	30,75	2,18	54,91	1міс
	2,18	2,34	5,79	0,29	1,56	30,75	2,18	54,91	3міс
	2,16	2,33	5,8	0,29	1,56	30,76	2,18	54,92	6міс
	2,11	2,28	5,81	0,3	1,57	30,73	2,24	54,96	12міс
	2,02	2,23	5,84	0,33	1,57	30,68	2,3	55,03	24міс
Зберігання при +4...+15°C з доступом світла	2,18	2,34	5,79	0,29	1,56	30,75	2,18	54,91	1міс
	2,16	2,32	5,8	0,3	1,56	30,75	2,19	54,92	3міс
	2,11	2,28	5,81	0,31	1,57	30,72	2,24	54,96	6міс
	1,86	1,93	5,94	0,42	1,68	29,32	2,31	56,02	12міс
	1,12	1,48	6,62	1,01	2,15	27,3	2,71	56,21	24міс

Із таблиці видно, що протягом зберігання компонентний склад ароматизатора змінюється. За результатами експериментальних досліджень зміни стану ароматизатора були побудовані багатокутники якості зразків, які зберігалися при різних умовах.

Сучасні прикладні комп'ютерні програми (Maple, EXEL, AutoCad) дозволяють визначити площу багатокутника якості. Площа багатокутника якості контрольного зразка була визначена як одинична ( $S_0$ ) і становила 31,97 квадратних одиниць (в даному

випадку мм<sup>2</sup>). Далі будували багатокутник якості ароматизатора, який зберігався 1 міс. (t<sub>2</sub>) при 0...+4 °С без доступу світла, на променях якого відкладали величини P<sub>11</sub>, P<sub>21</sub>, P<sub>31</sub>, P<sub>41</sub>, P<sub>51</sub>, P<sub>61</sub> у відносних одиницях, та визначали площу S<sub>1</sub> (у мм<sup>2</sup>). Послідовно після терміну зберігання t<sub>2</sub>, t<sub>3</sub>, t<sub>4</sub>, t<sub>5</sub> були отримані відповідно нові площі багатокутників S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub>, S<sub>5</sub>. Розрахунки проведені для кожних умов зберігання. За отриманими багатокутниками якості з допомогою прикладної комп'ютерної програми AutoCAD 2008 було визначено значення площ даних фігур та встановлено їх відносні значення: S<sub>0</sub>/S<sub>0</sub>=β<sub>0</sub>; S<sub>1</sub>/S<sub>0</sub>=β<sub>1</sub>; S<sub>2</sub>/S<sub>0</sub>=β<sub>2</sub> і т. д.

Простеживши за зміною багатокутника якості, було встановлено, що площа фігури зменшується. Закономірність даної зміни стала основою для створення математичної моделі прогнозування строку придатності натурального ароматизатора. Площу багатокутника якості ароматизатора незадовільної оцінки якості було визначено як мінімально допустиму (S<sub>мін</sub>), значення якої становить 30,65 квадратних одиниць (рис. 2).

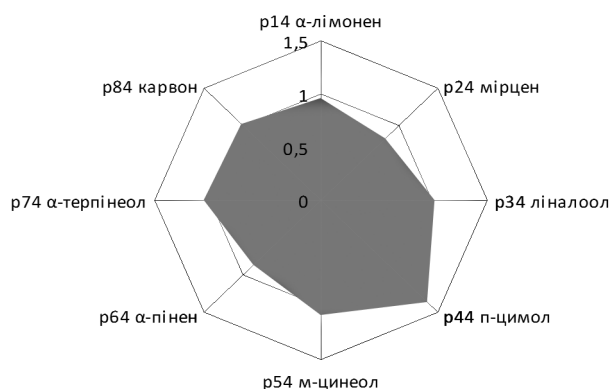
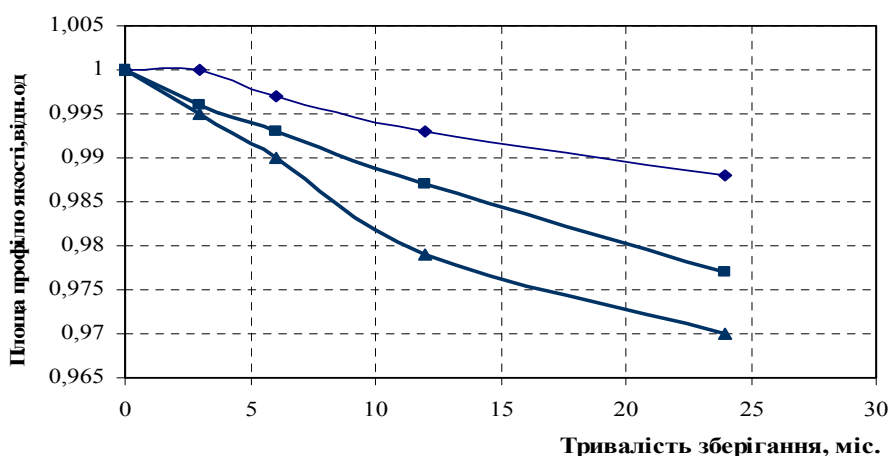


Рис. 2. Багатокутник якості ароматизатора «Кминний» з мінімальною площею.

За результатами досліджень були побудовані графічні залежності зміни площі багатокутника якості ароматизатора «Кминний» у часі (рис. 3).



1 – зберігання при 0...+4 °С без доступу світла; 2 – зберігання при 0...+4 °С з доступом світла; 3 – зберігання при +4...+15 °С з доступом світла.

Рис. 3. Зміна стану площі профілю якості ароматизатора «Кминний» у часі при різних умовах зберігання

У результаті обробки графічних зображень були складені математичні моделі цієї зміни:

$$\beta_{1\text{серія}} = 1,0005e^{-0,0005t} \quad (2)$$

$$\beta_{2\text{серія}} = 0,9995e^{-0,0009t} \quad (3)$$

$$\beta_{3\text{серія}} = 0,9989e^{-0,0012t} \quad (4)$$

Виконавши диференціювання рівнянь (2, 3, 4) було знайдено швидкість зміни якості системи V<sub>β</sub>, загальний вигляд якої можна представити наступною залежністю:

$$V_{\beta} = a \cdot e^{k_t t} \quad (5)$$

де – a, k<sub>t</sub> – коефіцієнти, які встановлюються експериментально та залежать від умов зберігання.

Екстраполяція даних залежностей у часі з урахуванням швидкості зміни якості дає можливість визначити максимальний строк придатності ароматизатора при розглянутих умовах зберігання, тобто таке

значення у при якому площа профілю якості зменшується до 0,959 відн. од.

Для режимів зберігання +4...+15 °С (крива 3), коли крива β = f(t) різко змінює свій напрямок, використовують кускову функцію. Тобто математичну модель в такому випадку доцільно записувати у наступному вигляді:

$$V_{\beta} = \begin{cases} \alpha \cdot e^{k_t t} & t \leq t_{кр} \\ V_{\beta 0} - \alpha \cdot t & t > t_{кр} \end{cases} \quad (6)$$

де t<sub>кр</sub> – час зберігання, при якому відбувається різка зміна показників якості ароматизатора.

Провівши розрахунки по встановленій математичній залежності, було визначено, що строк придатності ароматизатора «Кминні аромати» становить: при 0...+4 °С без доступу світла – 48 міс.; при

0...+4°C на світлі – 36; при +4...+15°C з доступом світла – 12 міс. Дані строки придатності можна рекомендувати для зберігання новітніх продуктів до складу яких входить ароматизатор «Кминний».

### Висновки

За результатами досліджень були побудовані графічні залежності зміни багатокутника якості ароматизатору «Кминний» у часі. Це дозволило розробити кінетичну модель визначення строку придатності ароматизаторів на основі адекватної математичної моделі процесу змін показників якості, яка включає в

себе всі фактори, які впливають на швидкість накопичення негативних чинників.

Проведені дослідження дозволяють стверджувати, що задля встановлення строку придатності харчового продукту можна використати математичну залежність, яка встановлюється при несприятливих умовах зберігання. Далі графічна інтерпретація залежності площі багатокутника якості від терміну зберігання дає можливість визначати час, протягом якого основні фізико-хімічні та органолептичні показники залишаються незмінними при рекомендованих умовах зберігання.

### Список літератури:

1. Steele Robert Understanding and Measuring the Shelf-life of Food / R. Steele. Saguy. I. Modeling of quality deterioration during food processing and storage / I. Saguy, M. Karel // Food Technology. – 1990. – № 34. – P. 78–85.
2. General standard for food additives codex stan 192-1995 Adopted in 1995. [Electronic Resource]: – Mode of access: [http://www.codexalimentarius.net/gsfaonline/docs/CXS\\_192e.pdf](http://www.codexalimentarius.net/gsfaonline/docs/CXS_192e.pdf)
3. Гуць, В.С. Моделирование показателей качества пищевых продуктов и прогнозирование срока их годности / В.С. Гуць // Упаковка. – 2009. – № 3. – С.30–34.
4. Пат. 45835 Україна, МПК7 C11 B1/10, C11 B9/02. Спосіб отримання натуральних ароматизаторів “Кминні аромати” / Фролова Н.Е., Українець А.І., Чепель Н.В., Силка І.М., Науменко К.А.; замовник і патентовласник Націон. унів.-т харч. техн. – № 200906561; заявл. 23.06.2009; опубл. 25.11.2009, Бюл.№22.
5. Charantimath Total Quality Management / Poornima M. Charantimath. – Pearson Education India, 2003. – 272 p.
6. Прогнозування строку придатності ароматизаторів із ефіроолійної сировини / Коваль О., Фролова Н., Силка І. // Товари і ринки. – 2011. – №2. – С. 149-155.
7. Корецька, І. Л. Оцінювання нових харчових виробів за допомогою критерію «Багатокутник якості»/ І. Л. Корецька, Т. В. Зінченко // Наукові праці НУХТ. – 2003. – №14. – С. 64-65.

## KINETIC MODEL OF THE QUALITY CHANGE OF MODERN FOODSTUFFS

I. Silka, Ph.D., Assistant, Email: [irinasilka@ukr.net](mailto:irinasilka@ukr.net)

Department of Technology of Nutrition and Catering Business\*

N. Frolova, Ph.D., Associate Professor, Email: [nef1957@mail.ru](mailto:nef1957@mail.ru)

Department of Food Technology\*

V. Huts, PhD, professor, Head of the Department of Life Safety\*

\*National University of Food Technology, Ukraine, 01601, m. Kyiv-33, st. 68

**Summary.** The shelf life determination of finished products requires the lengthy research. Using modeling techniques, in this case, allows for short time to get the necessary data and to predict the shelf life of the food product. Native ingredients reduce term of food products realization. This is one of the main causes of the limited natural flavors assortment in Ukraine. The natural flavor "Cumin" is considered in article. The natural flavor consists the essential oils components and is represented as a multi-parameter system with different profiles. The flavor stability study was conducted on two samples within two years under favorable and unfavorable storage conditions. The flavor quality is expressed as the polygon of quality in which the value of the content of an aromatic component was deferred.

The components of flavoring composition changes during the storage, respectively, the various quality polygons were received on the each stage. Over the time, the polygons area is reduced and reaches the minimum allowable. On the basis of the data we constructed graphic dependences of changes in the area of polygons quality flavor "Caraway" in time and made up of mathematical models.

**Keywords:** food, shelf life, quality, natural flavors, kinetic model.

### References

1. Steele Robert Understanding and Measuring the Shelf-life of Food. Woodhead Publishing.2004; 407p.
2. Saguy I. Modeling of quality deterioration during food processing and storage. Food Technology. 1990; 34: 78–85.
3. General standard for food additives codex stan 192-1995 Adopted in 1995. [Electronic Resource]. – Mode of access : URL : [http://www.codexalimentarius.net/gsfaonline/docs/CXS\\_192e.pdf](http://www.codexalimentarius.net/gsfaonline/docs/CXS_192e.pdf)
4. Guts V. Modelirovaniye pokazateley kachestva pyshchevyykh produktov y prohozyrovaniye sroka ykh hodnosti. Upakovka. 2009; 3: 30–34.
5. Пат. 45835 Ukrayina, MPK7 S11 V1/10, S11 V9/02. Sposib otrymannya natural'nykh aromatyzatoriv “Kmynni aromaty” / Frolova N.E., Ukrainets A.I., Chepel N.V., Silka I.M., Naumenko K.A.; zamovnyk i patentovlasnyk Natsion. univ. kharch. tekhn. – № 200906561; zayavl. 23.06.2009; opubl. 25.11.2009, Byul.№ 22.
6. Charantimath Total Quality Management / Poornima M. Charantimath. Pearson Education India. 2003; 272 p.
7. Koval O, Frolova N, Silka I. Prohozyrovannya stroku prydatnosti aromatyzatoriv iz efirooliynoyi syrovyny. Tovary i rynky. 2011; 2: 149–155.
8. Koretska I.L. Otsynuvannya novykh kharchovykh vyrobiv za dopomohoyu kryteriyyu «Bahatokutnyk yakosti». Naukovi pratsi NUKhT. 2003; 14: 64–65.

Отримано в редакцію 01.02.2016

Прийнято до друку 25.02.2016