

## DETERMINING THE OPTIMAL COMPOSITION OF GREEN SAUCE MIXTURE OVER THE CONTENT OF VITAMIN C

Y. Lyubtsova, N. Popova, T. Misyura  
*National University of Food Technologies*

---

**Key words:**

*Green sauce  
Inputs  
Output parameter  
Vitamin C  
Matrix planning  
Mathematical-statistical  
method*

---

**ABSTRACT**

This article considers how to determine the optimal ratio of the components of green sauce in order to maximize the amount of vitamin C in the mixture by mathematical and statistical analysis. According to the results of the experiments, the areas of factor space on linear regression, quadratic, special and full cubic models were determined. As a result, the optimal composition of the green sauce recipe was chosen, which is characterized by the best output of vitamin C in the finished product, therefore, the sauce can be considered a functional product.

---

**Article history:**

Received 06.11.2016  
Received in revised form  
05.12.2016  
Accepted 21.12.2016

---

**Corresponding author:**

Y. Lyubtsova  
**E-mail:**  
npnuht@ukr.net

---

## ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО СКЛАДУ СУМІШІ ЗЕЛЕНИХ СОУСІВ ЗА ВМІСТОМ ВІТАМІНУ С

Ю.Л. Любцова, Н.В. Попова, Т.Г. Мисюра  
*Національний університет харчових технологій*

*У статті розглянуто шляхи визначення оптимального співвідношення компонентів зеленого соусу для максимального забезпечення добової потреби вмісту вітаміну С у суміші методом математико-статистичного аналізу. За підсумками проведених експериментів побудовано області факторного простору по регресійній лінійній, квадратичній, спеціальній і повній кубічній моделі, завдяки чому був підібраний оптимальний склад рецептури зеленого соусу, в якій вихід вітаміну С в готовому продукті є оптимальним, тому соус може вважатися функціональним продуктом.*

**Ключові слова:** *зелений соус, вхідні фактори, вихідний параметр, вітамін С, матриця планування, математико-статистичний метод.*

**Постановка проблеми.** На сьогодні в різних науково-технічних галузях успішно застосовуються методи математичного планування експерименту, що істотно підвищує ефективність досліджень. Універсальність цих методів

забезпечує їх використання у різних галузях (хімії, медицині, біології тощо) [1].

Переважає більшість досліджуваних об'єктів відноситься до класу складних систем, що характеризуються значною кількістю взаємозалежних параметрів. Завдання дослідження таких систем полягає у встановленні залежності між вхідними параметрами — факторами і вихідними параметрами — показниками якості функціонування системи [2].

Актуальним є визначення залежності властивостей зелених соусів від вмісту компонентів суміші з максимально допустимим виходом вмісту вітаміну С. Для цього необхідно розглянути такі властивості багатокомпонентних систем, як функції складу, перехід до симплексної системи координат за допомогою діаграм «склад-властивість».

**Метою статті** є встановлення можливості застосування математико-статистичних методів для досліджень властивостей суміші при відомих характеристиках її складових і подальшого визначення оптимального складу зеленого соусу.

**Виклад основних результатів дослідження.** При розробленні оптимальної рецептури соусу було з'ясовано, що на його органолептичні властивості впливають всі компоненти. Зважаючи на це, на основі апріорної інформації у співвідношенні рецептурного складу було визначено три основні компоненти (базилік, петрушка та кріп), які було прийнято за вхідні параметри, та склад, який залишається незмінним і становить 76% від загальної рецептури. За вихідний параметр обрано вміст вітаміну С в готовій суміші.

На першому етапі експериментальної частини проведено досліди для визначення в основному незмінному складі суміші вхідних параметрів експерименту для подальшого розрахунку загального виходу зеленого соусу та вмісту в ньому вітаміну С. Експериментальні дані наведено в табл. 1.

*Таблиця 1. Вміст вітаміну С в основі суміші зеленого соусу*

Основа складу зеленого соусу	Об'ємна частка, %	Вміст вітаміну С (мг) на 76 г продукту
Зелена цибуля	9	9,155
Часник	6	
Лимон	12	
Волоський горіх	12	
Соняшникова олія	22	
Цукор	2	
Сіль	1	
<b>Усього</b>	<b>76</b>	

У подальших дослідженнях була побудована матриця планування гратчастого плану Шеффе — симплекс-вершинний план (ступінь 2) з внутрішніми точками і загальним центроїдом (рис. 1) [3].

Такий підхід дає змогу скоротити кількість експериментів, провести статистичну обробку даних і побудувати область факторного простору для заданих значень параметрів оптимізації, використовуючи програмний пакет STATISTICA [4; 5].

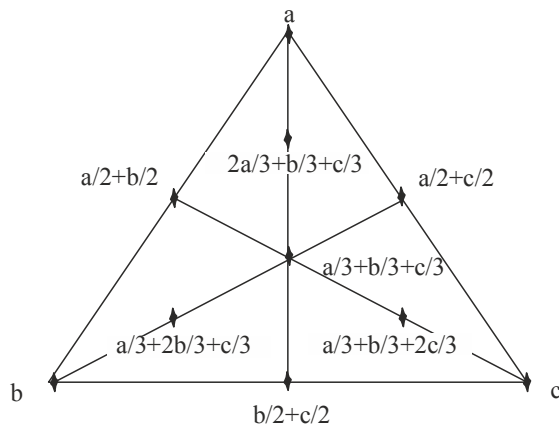


Рис. 1. Область факторного простору симплекс-вершини плану

Впливовими факторами в даному плані є вміст компонентів суміші зеленого соусу (базилік ( $x$ ), петрушка ( $y$ ), кріп ( $z$ )), що змінюється в кожному експерименті. В процесі реалізації матриці планування кожен експеримент повторювався три рази, що дає змогу більш точно провести статистичну обробку результатів.

Для того, щоб уникнути систематичних помилок при реалізації матриці планування, послідовність проведення експериментів вибиралася випадковим чином за допомогою генератора випадкових чисел програми STATISTICA. Слід зазначити, що основною метою реалізації даної матриці планування експериментів є визначення співвідношення вмісту компонентів суміші, що забезпечує максимально високий вміст вихідного параметра у складі.

Для експерименту було вибрано 3 компоненти складу суміші  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , які змінювалася від 0 до 100 г. Ці компоненти були обрані з аналізу даних апіорної інформації. В табл. 2 вказане середнє значення ( $v$ ) вихідного параметра експерименту.

Таблиця 2. Матриця планування трифакторного експерименту симплекс-вершинного плану (ступінь 2)

№	№ пров. досл.	Базилік ( $x$ )	Петрушка ( $y$ )	Кріп ( $z$ )	Вітамін С $v$
1	3	1,000	0,000	0,000	162,5
2	2	0,000	1,000	0,000	137
3	5	0,000	0,000	1,000	76,25
4	1	0,500	0,500	0,000	102,8
5	6	0,500	0,000	0,500	42,15
6	4	0,000	0,500	0,500	81,75

За результатами проведених експериментів були побудовані області факторного простору на основі регресійної моделі першого (рис. 2) і другого (рис. 3) порядку, де параметром оптимізації був вміст у суміші вітаміну С.

Величина вмісту вітаміну С (в мг), яка відповідає кольору забарвлення інтервалу, показана праворуч від діаграми.

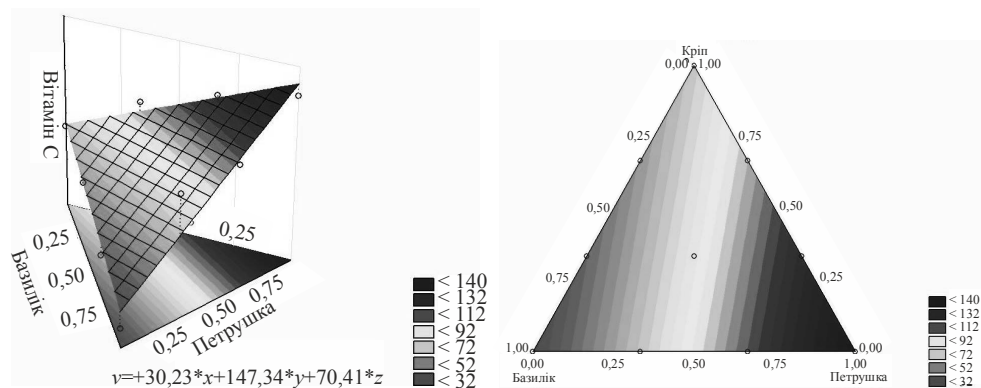


Рис. 2. Область факторного простору регресійної моделі першого порядку за вмістом вітаміну С

Оцінка коефіцієнтів наведених поліномів проводилась таким чином: оскільки симплекс-гратчасті плани є насиченими, тобто число експериментальних точок у плані дорівнює числу коефіцієнтів шуканого полінома, для отримання розрахункових формул коефіцієнтів полінома зручно скористатися методом підстановки. Для отримання розрахункових формул у поліном послідовно підставлялись координати всіх точок плану, а замість виходів — відповідні даним точкам значення  $v$ . Рівняння регресії першого порядку наведено на рис. 2.

Модель другого порядку для трикомпонентної суміші визначена лінійним рівнянням з урахуванням вмісту вітаміну С та розрахована за рівнянням регресії другого порядку, що наведені на рис. 3.

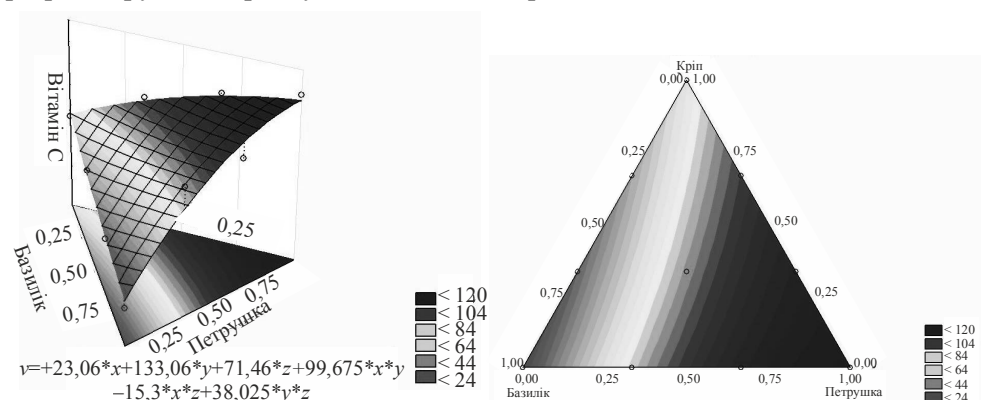


Рис. 3. Область факторного простору регресійної моделі другого порядку за вмістом вітаміну С

Вибір цих значень для побудови поверхні відгуку обумовлений тим, що кожний компонент вносить свій оптимально максимальний внесок у рецептуру за вмістом вітаміну С. Крім того, з огляду на те, що кожен експеримент в матриці реалізується тричі, можна оцінити статистичну стабільність повторюваності результатів і адекватність математичної моделі.

Аналізуючи рис. 2 і 3, слід зазначити, що мінімальний приріст маси зразків за заданим параметром оптимізації забезпечується при співвідношенні  $x$ :

$y: z$  — 0,5:0,5:0, а максимальний — при найбільшій концентрації компонентів  $z$  і  $y$ . Але враховуючи, що модель другого порядку може бути некоректною, тому що вона не дає змоги розглянути план поліномної функції в більш розгорнутому вигляді, тобто проводиться лише на 6 експериментів і задається параметрами 1:0,5:0, було прийнято рішення провести симплекс-вершинний план третього степеня за допомогою програми STATISTICA.

Для трифакторного експерименту симплекс-вершинного плану була побудована матриця на десять експериментів. Для більш точних результатів експерименти проводились двічі. В табл. 3 зображена матриця планування трифакторного експерименту симплекс-вершинного плану (ступінь 3) та вказане середнє значення ( $v$ ) вихідних параметрів експерименту.

Таблиця 3. Матриця планування трифакторного експерименту симплекс-вершинного плану (ступінь 3)

№	№ пров. досл.	Базилік (x)	Петрушка (y)	Крін (z)	Вітамін C v
1	5	0,333	0,000	0,667	57,3
2	8	1,000	0,000	0,000	16,3
3	3	0,333	0,667	0,000	103,1
4	1	0,000	0,333	0,667	103,2
5	6	0,667	0,000	0,333	35,6
6	10	0,000	0,667	0,333	123,4
7	9	0,667	0,333	0,000	102,5
8	4	0,333	0,333	0,333	79,1
9	7	0,000	0,000	1,000	81,7
10	2	0,000	1,000	0,000	148

За підсумками проведених експериментів були побудовані області факторного простору по регресійній спеціальній кубічній (рис. 4) і по повній кубічній (рис. 5) моделі.

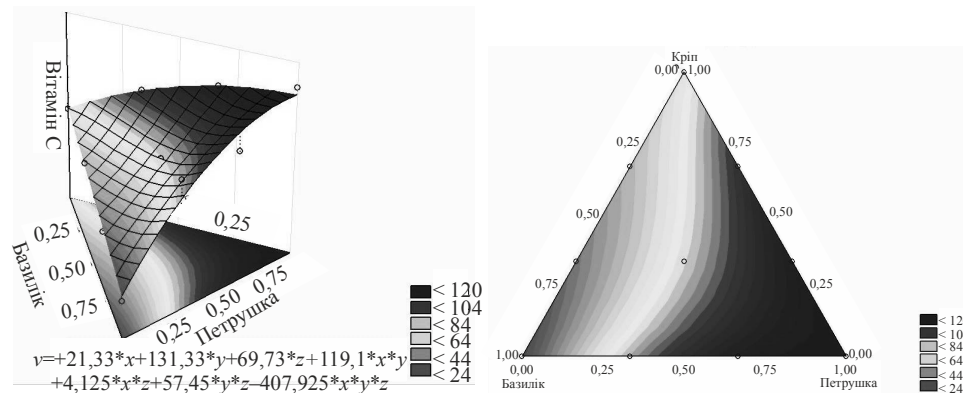


Рис. 4. Область факторного простору за регресійною спеціальною кубічною моделлю за вмістом вітаміну С

Рівняння регресії спеціальної і повної кубічної моделі наведено відповідно на рис. 4 і 5.

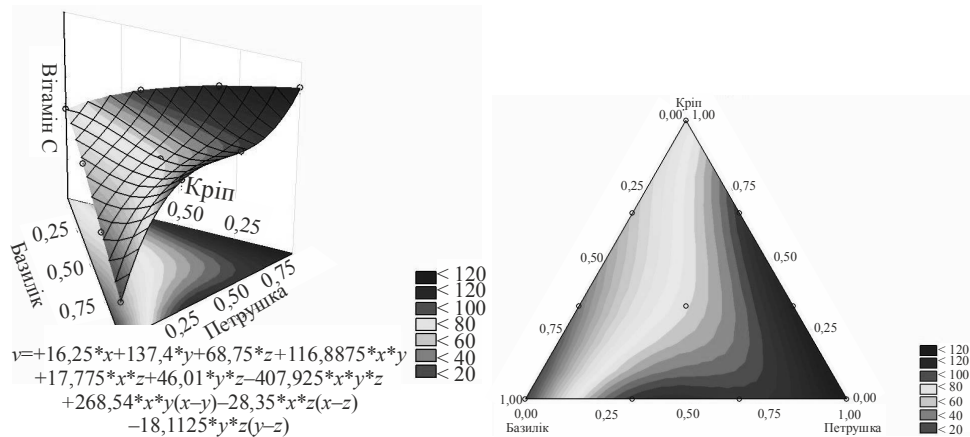


Рис. 5. Область факторного простору за регресійною повною кубічною моделлю за вмістом вітаміну С

Аналіз рис. 4 і 5 засвідчив, що мінімальний приріст маси зразків змінився відносно рис. 2, 3 і за заданим параметром оптимізації забезпечується при співвідношенні  $x:y:z$  — 0,667:0,333:0, а максимальний — при найбільшій концентрації компонентів у і z.

Після визначення оптимального значення компонентів розроблена нова рецептура, за якою був проведений експеримент з визначення вмісту вітаміну С у загальному складі зеленого соусу. Отримані дані наведені в табл. 4 у перерахунку на 100 г продукту.

Таблиця 4. Вміст вітаміну С в основі суміші зеленого соусу

Основа складу зеленого соусу	Об'ємна частка, %	Вміст вітаміну С(мг) на 100 г продукту
Базилік	6	47,34
Петрушка	20	
Кріп	10	
Зелена цибуля	9	
Часник	6	
Лимон	12	
Волоський горіх	12	
Соняшникова олія	22	
Цукор	2	
Сіль	1	
<b>Всього</b>	<b>100</b>	

Виходячи з отриманих даних, можна зробити висновок, що 100 г продукту зеленого соусу може вважатися функціональним продуктом, тому що забезпечення добової потреби у вітаміні С складає 90—100 мг, а в нашому випадку при вживанні продукту можна задовольнити добову потребу в вітаміні С на 47%. Забезпечивши незмінний основний склад, ми отримали гарні органолептичні та фізико-хімічні показники якості зеленого соусу, які наведені в табл. 5 та 6. Завдяки математико-статистичному методу був підібраний опти-

мальний склад рецептури зеленого соусу, в якій вихід вітаміну С в готовому продукті є оптимальним, а соус може вважатися функціональним продуктом.

Таблиця 5. Органолептична характеристика створеного зеленого соусу

Показник	Характеристика
Зовнішній вигляд	Однорідний в'язкий продукт. Наявність частинок прянощів, добавок, включень відповідно до рецептури. Колір однорідний за своєю масою, світло-зелений
Смак	Присмний, ніжний, з кисло-солодким присмаком
Аромат	Чистий, присмний, пряний, яскраво виражений

Таблиця 6. Фізико-хімічні показники зеленого соусу

Показник	Характеристика
Масова частка сухих речовин, %	23
Титрована кислотність (у перерахунку на яблучну кислоту), мг/100г	1,5
Масова частка кухонної солі	2
Сторонні домішки	Відсутні

### Висновки

Застосування математико-статистичного методу дало змогу отримати оптимальний склад рецептури зеленого соусу шляхом переходу до симплексної системи координат за допомогою діаграм «склад-властивість», а також завдяки аналізу канонічної форми полінома.

### Література

1. Зедгинидзе И.Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем. — Москва : Наука, 1976. — С. 186—203.
2. Налимов В.В. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов / В.В. Налимов, Н.А.Чернова. — Москва : Наука, 1965. — 341 с.
3. Хикс Ч.Р. Основные принципы планирования эксперимента. — Москва : Мир, 1967. — 69 с.
4. Теория эксперимента [Электронный ресурс] : Курс лекций в 2 ч. Ч. 1 / А.В. Блохин. — Минск : центр «Электронная книга БГУ», 2003 — 68 с. — Режим доступа: <http://anubis-bsu.by/publications/elresources/Chemistry/blohin1.pdf>.
5. Теория эксперимента [Электронный ресурс]: Курс лекций в 2 ч. Ч. 2. / А.В. Блохин. — Минск: центр «Электронная книга БГУ», 2003 — 68 с. — Режим доступа: <http://anubis-bsu.by/publications/elresources/Chemistry/blohin2.pdf>.
6. Пантелеев А.В. Методы оптимизации в примерах и задачах: Учеб. пособие / А.В. Пантелеев, Т.А. Летова. — 2-е изд., испр. — Москва: Высш. шк., 2005. — 544 с.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА СМЕСИ ЗЕЛЕННОГО СОУСА ПО СОДЕРЖАНИЮ ВИТАМИНА С

Ю.Л. Любцова, Н.В. Попова, Т.Г. Мисюра

Национальный университет пищевых технологий

В статье рассматриваются пути определения оптимального соотношения компонентов зеленого соуса для максимального обеспечения суточной по-

требности содержания витамина С в смеси методом математико-статистического анализа. По итогам проведенных экспериментов построены области факторного пространства по регрессивной линейной, квадратичной, специальной и полной кубической модели, благодаря чему был подобран состав рецептуры зеленого соуса, в которой выход витамина С в готовом продукте является оптимальным, поэтому соус можно считать функциональным продуктом.

**Ключевые слова:** зеленый соус, входные факторы, выходной параметр, витамин С, матрица планирования, математико-статистический метод.