

УДК 634.23: 631.56: 537.523.3

**ОБҐРУНТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМУ  
ЕЛЕКТРОІОНІЗАЦІЇ ПОВІТРЯ, ЗАСТОСОВУВАНОВОГО ДЛЯ  
ЗБЕРІГАННЯ ПЛОДІВ ЧЕРЕШНІ СВІТЛОГО СОРТУ  
ДАЧНИЦЯ**

Степаненко Д.С., к.т.н.,  
*Мелітопольський державний педагогічний університет  
ім. Б.Хмельницького*  
Проскурня Т.О., ст. викл.,  
Мілаєва В.І., магістр\*  
*Таврійський державний агротехнологічний університет*  
Тел. (0619) 42-04-42

**Анотація** – робота присвячена можливості використання методу багатокритеріальної оптимізації при обґрунтуванні режиму електроіонізації повітря, застосовуваного для зберігання плодів черешні світлого сорту Дачниця.

**Ключові слова** – математичні методи, аналіз, оптимізація, задачі прийняття рішень.

*Постановка проблеми.* При обробці експериментальних даних у наукових дослідженнях найчастіше використовують статистичні методи, в основі яких лежать уявлення й методи теорії ймовірностей - розділу математики, що вивчає випадкові явища, для яких результат не може бути передвіщений однозначно. У теорії ймовірностей використовуються методи аналізу випадкових подій і величин на основі вихідних ймовірностей, а завдання математичної статистики полягають у тому, щоб на основі отриманих експериментальних даних, які в цілому змінюються непередбаченим образом отримати надійні висновки щодо основних параметрів моделі. Результат вимірювання є випадковою величиною, що задається безліччю можливих значень [4].

Задача прийняття рішень надзвичайно гостро стоїть перед науковими робітниками, які завжди стоять перед вибором найкращого (найбільш дешевого, якісного...) рішення з множини існуючих альтернатив. Пошук оптимальних умов є однією з найбільш розповсюджених науково-технічних задач.

Найбільш часто використовуваним засобом підтримки пошуку ефективних рішень складних проблем є математичні методи оптимізації.

Вони виникають у той момент, коли встановлена можливість проведення процесу і необхідно знайти найкращі (оптимальні) умови його реалізації. При цьому необхідно завжди чітко формулювати, в якому сенсі умови повинні бути оптимальними. Цим визначається вибір мети досліджень. Задачі, сформульовані таким чином, називаються задачами оптимізації, а процес їх вирішення – оптимізацією.

У найбільш загальному значенні теорія прийняття оптимальних рішень являє собою сукупність математичних і чисельних методів, орієнтованих на знаходження найкращих варіантів з безлічі альтернатив, що дозволяють уникнути їхнього повного перебору.

Завдання проектування складних систем завжди багатокритеріальні, тому що при виборі найкращого варіанта доводиться враховувати багато різних вимог, пропонованих до системи, і серед цих вимог зустрічаються суперечні одна одній [4].

Застосуванням методів багатокритеріальної оптимізації, математичних і інструментальних методів економіки, включаючи статистику, економетрику, прогностику можна підтвердити обґрунтованість і вірогідність наукових положень, висновків і рекомендацій.

*Аналіз останніх досліджень.* Практична потреба суспільства в наукових основах прийняття рішень виникла з розвитком науки й техніки тільки в XVIII столітті. Початком науки "Теорія прийняття рішень" вважається робота Жозефа Луї Лагранжа з вирішення задачі: скільки землі повинен брати на лопату грабар, щоб його змінна продуктивність була найбільшою. Виявилось, що ствердження "бери більше, кидай далі" невірне. Бурхливе зростання технічного прогресу, особливо під час і після другої світової війни, ставило нові завдання, для розв'язання яких залучалися й розроблялися нові наукові методи. Можна виділити такі науково-технічні передумови становлення "Теорії прийняття рішень": подорожчання "ціни помилки". Чим складніше, дорожче, масштабніше планований захід, тим менше припустимі в ньому "вольові" рішення й тем важливіше стають наукові методи, що дозволяють заздалегідь оцінити наслідки кожного рішення, заздалегідь виключити неприпустимі варіанти й рекомендувати найбільш вдалі; прискорення науково-технічної революції. Життєвий цикл технічного виробу скоротився настільки, що "досвід" не встигав накопичуватися й було потрібно застосування більш розвиненого математичного апарата в проектуванні; розвиток ЕОМ. Розмірність і складність реальних інженерних завдань не дозволяло використовувати аналітичні методи.

Як часто буває, ця наука, з одного боку, стала певною галуззю інших більш загальних наук (теорія систем, системний аналіз, кібернетика й т.д.), а з іншого, стала синтезом певних фундаментальних більш приватних наук (дослідження операцій, оптимізація й т.д.), створивши при цьому й власні методології [3].

Широка опора системного аналізу на дослідження операцій приводить до таких його надомних розділів, як постановка завдань ухвалення рішення; опис безлічі альтернатив; дослідження багатокритеріальних завдань; *методи вирішення завдань оптимізації*; обробка експертних оцінок; робота з макромоделями системи.

Прикладами *задач оптимізації* може бути вибір оптимальних режимів обробки, оптимального складу багатокомпонентних сумішей, сплавів, підвищення продуктивності діючих установок, підвищення якості продукції, зниження витрат на її отримання та ін. [1-7].

Останнім часом все більшу увагу приділяють динамічним задачам багатокритеріальної оптимізації, у яких потрібно знайти ефективні рішення задач проектування динамічних систем. Методи аналізу таких задач можуть бути засновані на використанні методів оптимізації динамічних систем, основи яких були закладені Л.С. Понтрягіним і його школою, а також школами А.Б. Куржанського й Ф.Л. Черноусько, які розвиваються у нашій країні поряд зі школою Л.С. Понтрягіна, і методів у задачах багатокритеріальної оптимізації, розроблювальних школою П.С. Краснощокова. [6]. Відомі також методики багатокритеріального аналізу, які використовуються в технічних системах [7].

*Формулювання цілей статті.* Важливим достоїнством методу багатокритеріальної оптимізації є його універсальність, приналежність у великій більшості галузей дослідництва, що цікавлять сучасних науковців. Тому метою є обґрунтування оптимальний режим обробки негативними іонами плодів черешні світлозabarвленого сорту Дачниця при закладці їх на зберігання, при використанні даного методу.

*Основна частина.* Встановлення закономірностей, яким підлягають масові випадкові явища, засновано на вивченні методами теорії ймовірностей статистичних даних – результатів спостережень.

Задачі прийняття рішень можна розглядати наступним чином. Нехай є у наявності:

- декілька однотипних альтернатив (об'єктів, дій і т.п.);
- головний критерій (головна ціль) порівняння альтернатив;
- декілька груп однотипних факторів (окремих критеріїв, об'єктів, дій і т.п.), що впливають визначеним чином на відбір альтернатив.

Необхідно кожній альтернативі поставити у пріоритет (число) – отримати рейтинг альтернатив. При чому, чим більш краща альтерна-

тива по вибраному критерію, тим значніший її пріоритет. Прийняття рішень ґрунтується на величинах пріоритетів.

Після того, як зроблено вибірку і стали відомі її статистичні дані (варіанти, елементи і т.п.), виникає необхідність представити ці дані у вигляді, зручному для рішення даної задачі. На практиці використовують багато різноманітних видів представлення статистичних даних (текстовий, табличний, графічний види, варіаційний ряд).

Якщо при статистичній обробці сукупність байдужно в якій послідовності записувати дані, то буває зручним розмістити ці дані (варіанти) у відповідності з їх значенням або по зростанню (сукупність, що не убуває), або по убубанню (сукупність, що не зростає). Цей процес називається ранжируванням. А місце кожної варіанти у ранжируваному ряді називається рангом.

Послідовність варіант, записана у порядку зростання (убубання) називається ранжируваним рядом.

В основі математичного методу багатокритеріальної оптимізації покладено використання механізму прийняття рішень за багатьма критеріями, які дозволяють виключити вплив одиниць виміру показників властивостей досліджуваних продуктів сільськогосподарського виробництва, а також вплив величин інтервалів допустимих значень кожного показника на оптимальний варіант (цільову функцію) [1,2].

Визначення узагальненого параметра оптимізації пов'язано із створенням єдиного признака, що кількісно визначає функціонування досліджуваного об'єкта з багатьма вихідними параметрами. Кожний вихідний параметр – відгук – має свій фізичний смисл, свою розмірність. Щоб поєднати різні відгуки, необхідно ввести для всіх них штучну метрику і вибрати правило комбінування вихідних відгуків у узагальнений показник. Єдиного правила не існує, тут можна йти різними шляхами і вибір їх неформалізований [2,7].

Обґрунтуємо вибір оптимального варіанту електроіонізації повітря, застосовуваного для зберігання плодів черешні світло забарвленого сорту Дачниця.

Досліджуваними показниками плодів черешні, які характеризують якість продукту наприкінці періоду зберігання, є: органічні кислоти, цукри, інтенсивність дихання, які ми будемо вважати критеріями ( $A_j$ ).

Позначимо:

- вміст у плодах черешні органічних кислот -  $A_1$ ; цукрів -  $A_2$ ; інтенсивність дихання -  $A_3$ .

-  $f_j^+ \rightarrow \backslash f_j$  – перевід значення зазначених показників в безрозмірні величини (де  $f_j$  - несумірні за значенням критерії  $A_j$ ;  $\backslash f_j$  – безрозмірні величини).

Для виключення впливу одиниць вимірювання показників плодів, що перебувають на зберіганні, проводимо операцію нормування, яка дозволить перевести значення показників у безрозмірні величини, тобто

$$f_j \rightarrow \backslash f_j$$

де  $f_j$  - несумірні за значенням критерії  $A_j$ ;

$\backslash f_j$  – безрозмірні величини.

Для цього необхідно встановити максимальне  $f_j^+$  та мінімальне  $f_j^-$  значення  $j$ -го критерію досліджуваного сорту плодів  $x_i$ .

1. Встановлення максимального та мінімального критеріїв досліджуваного сорту плодів (у визначених одиницях вимірювання) з урахуванням індивідуальних допусків (чисельні значення дослідних результатів табл. 1):

$$f_j^- = f(x_i)_{\min} - 5\%;$$

$$f_j^+ = f(x_i)_{\max} + 5\%,$$

де  $f(x_i)_{\min}$  – мінімальне значення критерію  $A_j$ ;

$f(x_i)_{\max}$  - максимальне значення критерію  $A_j$ ;

5% - допустима похибка досліду (у практичних дослідженнях застосовується найбільш часто [3]).

Приклад розрахунку для вмісту органічних кислот у плодах черешні:

$$f_1^- = 0,09 - 0,05 = 0,04;$$

$$f_4^+ = 0,29 + 0,05 = 0,34;$$

Приклад розрахунку для вмісту загального цукру у плодах черешні:

$$f_1^- = 4,16 - 0,05 = 4,11;$$

$$f_2^+ = 7,96 + 0,05 = 8,01;$$

Приклад розрахунку для інтенсивності дихання плодів черешні:

$$f_3^- = 36,2 - 0,05 = 36,15 ;$$

$$f_2^+ = 49,8 + 0,05 = 49,85;$$

2. Оптимальне значення  $j$ -го критерію встановлюється, виходячи з такого правила:

- якщо оціночний критерій  $f_j$  наближається до мінімального значення, тобто  $f_j^{opt} \rightarrow \min$ , то  $f_j^{opt} = f_j^-$ ;

- якщо оціночний критерій  $f_j$  наближається до максимального значення, тобто  $f_j^{opt} \rightarrow \max$ , то  $f_j^{opt} = f_j^+$ ;

У нашому випадку

$$\begin{aligned} f_1^{opt} &\rightarrow \max; \\ f_2^{opt} &\rightarrow \max; \\ f_3^{opt} &\rightarrow \min. \end{aligned}$$

Наближення оптимального значення  $j$ -го критерію ( $f_j^{opt} \rightarrow \min$ ;  $f_j^{opt} \rightarrow \max$ ) враховується при виборі формул для проведення операції нормування.

Якщо  $f_j^{opt} \rightarrow \min$ , то операція нормування відбувається за формулою:

$$\backslash f_j(x_i) = \frac{(f_j^+ - f_j(x_i))}{(f_j^+ - f_j^-)} \quad (1),$$

якщо  $f_j^{opt} \rightarrow \max$ , то операція нормування відбувається за формулою:

$$\backslash f_j(x_i) = \frac{(f_j(x_i) - f_j^-)}{(f_j^+ - f_j^-)}, \quad (2)$$

де  $\backslash f_j(x_i)$  – значення  $j$ -го критерію в нормованому вигляді для визначеного режиму іонізації повітря;

$f_j(x_i)$  – значення  $j$ -го критерію для визначеного режиму іонізації повітря в одиницях виміру;

$[f_j^+; f_j^-]$  – область допустимих значень  $j$ -го критерію іонізації повітря.

Для критеріїв  $A_1, A_2$ ,  $f_1^{opt} \rightarrow \max$ , тому для розрахунків використовуємо формулу (2):

$$\backslash f_1(x_1) = \frac{(0.29 - 0.04)}{(0.34 - 0.04)} = 0.83;$$

Аналогічно проводяться розрахунки для всіх наведених варіантів і результати зводяться у таблицю 2.

Для критерію  $A_3$ ,  $f_3^{opt} \rightarrow \min$ , тому для розрахунків використовуємо формулу (2):

$$\backslash f_3(x_1) = \frac{(49.85 - 36.2)}{(49.85 - 36.15)} = 0.996;$$

Аналогічно проводяться розрахунки для всіх наведених варіантів і результати заносяться у таблицю 2.

При рішенні поставленої задачі використовуємо математичну модель об'єкта дослідження, під якою будемо розуміти рівняння, що пов'язує параметр оптимізації з факторами. Це рівняння у загальному вигляді можна представити як  $y = \varphi(x_i)$ .

Переходимо до визначення значень цільової функції  $\varphi(x_i)$  (оптимальний режим електроіонізації повітря):

$$\varphi(x_i) = \sum_{j=1}^n |f_j(x_i) - f_j(x'')| \rightarrow \min, \quad \text{де} \quad 0 \leq f_j(x_i) \leq 1; \quad (3)$$

$$f(x'') = 1 \quad (\text{приймаємо, це доведено математично})$$

де  $\varphi(x_i)$  – цільова функція  $i$ -го режиму;

$n$  – кількість критеріїв;

$f_j(x_i)$  – значення  $j$ -го критерію в нормованому вигляді для  $i$ -го режиму;

$f_j(x'')$  – значення  $j$ -го критерію в нормованому вигляді для кращого режиму;

$x''$  – кращий режим (з оптимальними значеннями критерію).

Вибір кращого режиму іонізації повітря визначається з умов найбільшого наближення її цільової функції  $[\varphi(x_i)]$  до цільової функції кращої концентрації  $[\varphi(x'')]$ , яка дорівнює нулю (приймаємо, доведено математично).

Визначення значень цільової функції  $\varphi(x_i)$  для 1 режиму електроіонізації (5000 В; 5 хв.) за формулою (3):

$$\varphi(x_1) = \sum_{j=1}^7 |0.83 - 1| + |0.996 - 1| + |0.987 - 1| = 0.187$$

Чим менша величина цільової функції концентрації  $\varphi(x_i)$ , в діапазоні значень критеріїв досліджуваних режимів, тим краще.

На цьому принципі заснована побудова ранжируваного ряду (ранг – це кількісна оцінка параметру оптимізації, яка носить умовний (суб'єктивний) характер). У відповідність якісному признаку ставиться деяке число – ранг.

Для всіх наведених варіантів проводяться аналогічні розрахунки, і результати заносяться в табл. 2.

Таким чином, отримані данні для вибору оптимальних режимів електроіонізації повітря представляються у вигляді таблиці, де визначені критерії  $f_j$ , які характеризують властивості  $A_j$  представлені у безрозмірному вигляді та у шкалах.

Результатом наведеного розрахунку є побудова ранжируваного ряду у порядку убудання отриманих значень цільових функцій і вибір

оптимального режиму оброблення повітря, який проводиться за умов найбільшого наближення цільової функції до нуля, тобто за умов найбільшого наближення цільової функції до математичного виразу:

$$\varphi(x_i) \rightarrow \varphi(x'')=0.$$

Таблиця 1

Показники плодів черешні сорту Дачниця, оброблених ЕПП  
(25-а доба зберігання)  $M \pm m$ ,  $n=5$

Режими обробки		Біохімічні показники плодів		
		Титруєма кислотність, %	Загальний цукор, %	Інтенсивність дихання, мг CO <sub>2</sub> /кг/ год
Контроль (15-а доба зберігання)		0,22±0,20	48,2±0,25	4,62±0,61
X <sub>1</sub>	5000 В; 5 хв.	0,29±0,021	7,96±0,234	36,2±0,231
X <sub>2</sub>	5000 В; 10 хв.	0,18±0,034	6,34±0,351	47,6±0,621
X <sub>3</sub>	5000 В; 20 хв.	0,13±0,121	4,81±0,472	44,0±0,511
X <sub>1</sub>	10000 В; 5 хв.	0,14±0,068	5,16±0,621*	49,8±0,324
X <sub>2</sub>	10000 В; 10 хв.	0,11±0,098	4,98±0,322*	47,1±0,144
X <sub>3</sub>	10000 В; 20 хв.	0,09±0,063	4,16±1,411*	49,1±0,471

\* Розходження достовірні при порівнянні з контролем  $p < 0,05$ .



Таблиця 2

Узагальнююча таблиця математичних розрахунків для вибору оптимального режиму електроіонізації повітря для обробки плодів черешні сорту Дачниця перед закладенням на тривале зберігання

Режим обробки	Показники плодів (критерії $A_i$ )						Значення цільових функцій $\varphi(x_i)$	Ранг
	Титр. кислоти		Цукри		Інтенсивність дихання			
	$f_1$ (%)	$\backslash f_1$	$f_2$ (%)	$\backslash f_2$	$f_3$ мг CO <sub>2</sub> / кг/ год	$\backslash f_3$		
<b>Контроль</b>	<b>0,22</b>	<b>0,382</b>	<b>48,2</b>	<b>0,101</b>	<b>4,62</b>	<b>0,012</b>	<b>2,505</b>	<b>7</b>
5000 В; 5 хв	0,29	0,830	36,2	0,996	7,96	0,987	0,187	<b>1</b>
5000 В; 10 хв	0,18	0,467	47,6	0,164	6,34	0,572	1,797	<b>2</b>
5000 В; 15 хв	0,13	0,300	44,0	0,427	4,81	0,179	2,094	<b>3</b>
10000 В; 5 хв	0,14	0,333	49,8	0,004	5,16	0,269	2,394	<b>5</b>
10000 В; 10 хв	0,11	0,233	47,1	0,201	4,98	0,223	2,333	<b>4</b>
10000 В; 15 хв	0,09	0,166	49,1	0,055	4,16	0,013	2,766	<b>6</b>

*Висновки.* Результати наведених розрахунків дають можливість математично обґрунтувати вибір оптимального режиму іонізації повітря електричним струмом коронного розряду для обробки ним плодів черешні світлого сорту Дачниця при закладенні їх на зберігання.

Отриманий у результаті розрахунків ранжируваний ряд має наступний вигляд (у порядку погіршення отриманих результатів): 10000 В, 15 хв; 10000 В, 5 хв.; 10000 В, 10 хв.; 5000 В, 15 хв.; 5000 В, 10 хв.; 5000 В, 5 хв.

Кращий результат зберігання плодів черешні, отриманий нами, показав, що оптимальним режимом електроіонізації повітря є напруга 5000 В при експозиції 5 хв.

#### Література

1. Адлер Ю.П. Введение в планирование эксперимента / Ю.П. Адлер.- М.: Металлургия, 1969.- 243 с.
2. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных русловий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский.- М.: Наука,

1976.- 279 с.

3. *Ахназарова С.Л.* Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии / *С.Л. Ахназарова, В.В. Кафаров.*- М.: Высшая школа, 1978.- 241 с.

4. *Вентцель Е.С.* Теория вероятностей / *Е.С. Вентцель.*- М.: Наука, 1971.- 314 с.

5. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта / *Б.А. Доспехов.*- М.: Агропромиздат, 1985.- 352 с.

6. Применение математических методов для исследования многокомпонентных систем. / под ред. *И.Г.Зедгенидзе* и др. – М.: Металургія, 1974.- 352 с.

7. *Соболь И.М.* «Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями» / *И.М. Соболь, Р.Б. Статников.*- М.: Агропромиздат, 1985. – 112 с.

### **ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА ЭЛЕКТРОИОНИЗАЦИИ ВОЗДУХА, ПРИМЕНЯЕМОГО ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ПЛОДОВ ЧЕРЕШНИ СВЕТЛОГО СОРТА ДАЧНИЦА**

Степаненко Д.С., Проскурня Т.О., Милаева В.И.

*Аннотация* – работа посвящена возможности использования метода оптимизации при обосновании режима электроионизации воздуха, применяемого для хранения плодов черешни светлого сорта Дачница.

### **SUBSTANTIATION OF THE OPTIMUM MODE OF ELECTROIONIZATION OF AIR APPLIED TO STORAGE OF FRUITS OF THE SWEET CHERRY OF A LIGHT GRADE 'DACHNITSA'**

D. Stepanenko, T. Proscornya, V. Millayeva

#### *Summary*

A paper considers a possibility of using the method of multi-criterion optimization at substantiation of a mode of the electroionization of air applied to storage of fruits of the sweet cherry of a light grade 'Dachnitsa'.