

УДК 634.23:631.56:537.523.3

ОБҐРУНТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМУ ЕЛЕКТРОІОНІЗАЦІЇ ПОВІТРЯ, ЗАСТОСОВУВАНОВОГО ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ ПЛОДІВ ЧЕРЕШНІ

Степаненко Д.С., к.т.н.

*Мелітопольський державний педагогічний університет
ім. Б.Хмельницького*

Проскурня Т.О., інж.

Мілаєва В.І., ст. 421 гр., факультет ІКТ

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.

Ключові слова – математичні методи, аналіз, оптимізація, оптимальні параметри.

Постановка проблеми. Пошук оптимальних умов є однією з найбільш розповсюджених науково-технічних задач. 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.

При традиційному нематематичному підході дослідник прагне якимось чином врахувати різні аспекти, зважити їх и прийняти узгоджене рішення про те, який дослід краще. 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. Аналіз варіантів за багатьма критеріями - це важливе завдання прийняття рішень, що виникає в різних галузях науки й техніки, економіки, в освіті, політиці й т.д.

Математичні методи оптимізації є часто використовуваним засобом комп'ютерної підтримки пошуку ефективних рішень

складних проблем. Серед таких методів все більш важливу роль грають методи багатокритеріальної оптимізації, що дозволяють урахувати суперечливі вимоги, які пред'являються до рішень, що розглядаються.

Прикладами задач оптимізації є вибір оптимальних режимів обробки, оптимального складу багатоконпонентних сумішей, сплавів, підвищення продуктивності діючих установок, підвищення якості продукції, зниження витрат на її отримання та ін. [1-5]

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. Краснощогова. [4].

Відомі також методики багатокритеріального аналізу, які використовуються в технічних системах [5].

Багатокритеріальний підхід є найбільш загальним. У той же час саме завдяки загальності цього підходу в ньому залишається достатньо свободи й невизначеності в питаннях вибору конкретних найбільш значимих критеріїв.

Як показує досвід досліджень і розробок в галузі прийняття рішень, у процесах вибору в тій або іншій формі завжди використовується ряд критеріїв оцінки переваги альтернатив. Цей процес має ряд етапів, які присутні практично у всіх методах прийняття рішень. На першому етапі формується сам набір альтернатив і критеріїв, потім альтернативи описуються мовою критеріїв, і лише потім вони аналізуються й порівнюються [2].

Різні варіанти багатокритеріального підходу відрізняються один від іншого вибором функції переваги, видом суперкритерію, способом забезпечення порівнянності приватних критеріїв (проблема розмірності) [4,5].

Формулювання цілей статті. Враховуючи те, що важливим достоїнством методу багатокритеріальної оптимізації є його універсальність, принадність у великій більшості галузей дослідництва, що цікавлять сучасних науковців, ми поставили перед собою за мету обґрунтувати оптимальний режим обробки негативними іонами плодів черешні при закладці їх на зберігання.

Основна частина. Як метод формального опису способу прийняття рішень, у даній роботі прийнята багатокритеріальна мова. Цей вибір обумовлений тим, що вона є інтуїтивно ясною і дійсний час

найбільш повно розробленою, а також (із цих причин) найбільш популярною [2].

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 [2,5].

Обґрунтуємо вибір оптимального варіанту електроіонізації повітря, застосовуваного для зберігання плодів черешні.

Досліджуваними показниками плодів черешні, які характеризують якість продукту наприкінці періоду зберігання, є: органічні кислоти, цукри, фенольні речовини, етиловий спирт, ацетальдегід, інтенсивність дихання і фізико-механічні властивості плодів (опірність проколюванню, г/мм^2), які ми будемо вважати критеріями (A_j).

Позначимо:

- вміст у плодах черешні органічних кислот - A_1 ; цукрів - A_2 ; фенольних речовин - A_3 ; етилового спирту - A_4 ; ацетальдегіду - A_5 ; інтенсивність дихання - A_6 ; фізико-механічні властивості - A_7 .

- $f_j^+ \rightarrow \backslash f_j$ - 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 дослідів (у практичних дослідженнях застосовується найбільш часто [3]).

Приклад розрахунку для вмісту органічних кислот у плодах черешні:

$$f_1^- = 0,431 - 0,05 = 0,381;$$

$$f_4^+ = 0,661 + 0,05 = 0,711;$$

Приклад розрахунку для вмісту загального цукру у плодах черешні:

$$f_1^- = 6,79 - 0,05 = 6,74;$$

$$f_2^+ = 7,90 + 0,05 = 7,95;$$

Приклад розрахунку для фенольних сполук у плодах черешні:

$$f_1^- = 209,98 - 0,05 = 209,93;$$

$$f_3^+ = 358,12 + 0,05 = 358,17;$$

Приклад розрахунку для вмісту етилового спирту у плодах черешні:

$$f_3^- = 22,67 - 0,05 = 22,62;$$

$$f_2^+ = 58,49 + 0,05 = 58,54;$$

Приклад розрахунку для вмісту ацетальдегіду у плодах черешні:

$$f_3^- = 0,35 - 0,05 = 0,30;$$

$$f_2^+ = 2,97 + 0,05 = 3,02;$$

Приклад розрахунку для інтенсивності дихання плодів черешні:

$$f_3^- = 33,262 - 0,05 = 33,212 ;$$

$$f_2^+ = 56,185 + 0,05 = 56,235;$$

Приклад розрахунку для опірності проколюванню плодів

черешні:

$$f_3^- = 48,5 - 0,05 = 48,45 ;$$

$$f_2^+ = 77,0 + 0,05 = 77,05 ;$$

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

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

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

У нашому випадку $f_1^{onm.} \rightarrow \max$;

$$f_2^{onm.} \rightarrow \max ;$$

$$f_3^{onm.} \rightarrow \max ;$$

$$f_4^{onm.} \rightarrow \min ;$$

$$f_5^{onm.} \rightarrow \min ;$$

$$f_6^{onm.} \rightarrow \min ;$$

$$f_7^{onm.} \rightarrow \max .$$

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

Якщо $f_j^{onm.} \rightarrow \min$, то операція нормування відбувається по формулі:

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

якщо $f_j^{onm.} \rightarrow \max$, то операція нормування відбувається по формулі:

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

де $\setminus f_j(x_i)$ – 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, A_3, A_7 $f_i^{onm.} \rightarrow \max$, тому для розрахунків використовуємо формулу (2):

$$\setminus f_1(x_1) = \frac{(0.431 - 0.381)}{(0.711 - 0.381)} = 0.152 ;$$

Аналогічно проводяться розрахунки для всіх наведених

варіантів і результати зводяться у таблицю 2.

Для критеріїв A_4, A_5, A_6 $f_i^{o\ n} \rightarrow \min$, тому для розрахунків використовуємо формулу (2):

$$\backslash f_4(x_1) = \frac{(58.54 - 58.49)}{(58.54 - 22.62)} = 0.001;$$

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):

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

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

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):

$$\varphi(x_1) = \sum_1^7 |0.152 - 1| + |0.041 - 1| + |0.133 - 1| + |0.001 - 1| + |0.099 - 1| + |0.020 - 1| + |0.009 - 1| = 6.545$$

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

Таблиця 1 - Показники плодів черешні, оброблених ЕПІ (90 доба зберігання) $M \pm m$, $p=5$

Режими обробки	Біохімічні показники плодів						
	Титруєма кислотність, %	Загальний цукор, %	Фенольні сполуки, мг/100г	Етиловий спирт, мг/100г	Ацетальдегід, мг/100г	Інтенсивність дихання, мг CO ₂ /кг/г	Опірність проколуюванню, г/мм ²
Контроль (40 доба)	0,428±0,087	3,66±0,367	162,80±0,625	126,40±0,25	4,42±0,20	43,323±0,618	36,01±0,5
X ₁ 5000 В;5 хв.	0,431±0,057	6,79±0,586	229,58±0,401	58,49±0,19	2,75±0,91	56,185±0,618	48,7±0,15
X ₂ 5000 В;10 хв.	0,435±0,035	7,27±0,532	221,50±0,741	48,50±2,46	1,97±0,08	41,292±0,677	48,5±0,24
X ₃ 5000 В;20 хв.	0,563±0,049	7,10±0,784	209,98±0,389	47,30±0,42	1,96±0,07	33,169±0,618	49,0±0,12
X ₁ 10000 В;5 хв.	0,520±0,037	7,35±0,570	350,22±0,462	52,06±2,39	2,97±0,08	50,092±0,276	69,1±0,23
X ₂ 10000 В;10 хв.	0,464±0,021	7,56±0,445	330,01±0,393	46,15±1,11	1,94±0,07	51,446±1,267	69,8±0,20
X ₃ 10000 В;20 хв.	0,499±0,016	7,30±0,383	330,24±0,308	45,49±1,31	1,39±0,14	64,984±1,874	67,8±0,24
X ₁ 1500 В;5 хв.	0,661±0,023	7,81±0,427	358,12±0,246	22,67±1,22	0,35±0,02	33,262±0,518*	76,5±0,31
X ₂ 1500 В;10 хв.	0,631±0,012	7,90±0,316	346,28±0,176	28,04±0,92	0,72±0,06	39,264±0,677*	77,0±0,53
X ₃ 1500 В;20 хв.	0,506±0,022	7,64±0,358	269,88±0,121	37,21±0,87	1,03±0,04	52,800±2,123*	72,7±0,32

* - 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 перед закладенням на тривале зберігання

Режим обробки	Показники плодів (критерії A_j)															Ранг
	Титр. кислоти		Цукри		Фенольні сполуки		Етиловий спирт		Ацетальдегід		Інтенсивність дихання		Опірність проколюванню		Значення цільових функцій $\varphi(x_i)$	
	f_1 (%)	$\backslash f_1$	f_2 (%)	$\backslash f_2$	f_3 мг/100 г	$\backslash f_3$	f_4 мг/100 г	$\backslash f_4$	f_5 мг/100 г	$\backslash f_5$	f_6 мг CO ₂ /кг/ г	$\backslash f_6$	f_7 (г/мм ²)	$\backslash f_7$		
Контроль	0,428		3,66		162,8		126,40		4,42		43,323		36,01			
1). 5000 В; 5 хв.	0,431	0,152	6,79	0,041	229,58	0,133	58,49	0,001	2,75	0,099	56,185	0,020	48,70	0,009	6,545	9
2). 5000 В; 10хв.	0,435	0,164	7,27	0,438	221,50	0,078	48,50	0,280	1,97	0,386	41,292	0,649	48,50	0,002	5,003	8
3). 5000 В; 20 хв.	0,563	0,552	7,10	0,298	209,98	0,0003	47,30	0,313	1,96	0,390	33,169	1,002	49,00	0,019	4,430	7
4). 10000 В; 5 хв.	0,520	0,421	7,35	0,504	350,22	0,946	52,06	0,180	2,97	0,020	50,092	0,267	69,1	0,722	3,940	6
5). 10000 В; 10 хв.	0,464	0,252	7,56	0,678	330,01	0,810	46,15	0,345	1,94	0,397	51,446	0,208	69,80	0,747	3,563	4
6). 10000 В; 20 хв.	0,499	0,358	7,30	0,463	330,24	0,812	45,49	0,363	1,39	0,599	54,984	0,054	67,80	0,677	3,674	5
7).15000 В; 5 хв.	0,661	0,848	7,81	0,884	358,12	0,999	22,67	0,999	0,35	0,982	33,262	0,149	76,50	0,981	1,158	2
8).15000 В; 10 хв.	0,631	0,758	7,90	0,959	346,28	0,920	28,04	0,849	0,72	0,846	39,264	0,737	77,00	0,998	0,933	1
9).15000 В; 20 хв.	0,506	0,379	7,64	0,744	269,88	0,404	37,21	0,593	1,03	0,732	52,800	0,998	72,70	0,848	2,302	3

На цьому принципі заснована побудова ранжируваного ряду (ранг – це кількісна оцінка параметру оптимізації, яка носить умовний (суб'єктивний) характер). Ми ставимо у відповідність якісному признаку 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 убутання 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: $\varphi(x_j) \rightarrow \varphi(x'')=0$.

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

Отриманий у результаті розрахунків ранжируваний ряд має наступний вигляд (у порядку погіршення отриманих результатів): 15000 В, 10 хв.; 15000 В, 5 хв.; 15000 В, 20 хв.; 10000 В, 10 хв.; 10000 В, 20 хв.; 10000 В, 5 хв.; 5000 В, 20 хв.; 5000 В, 10 хв.; 5000 В, 5 хв.

Кращий результат зберігання плодів черешні, отриманий нами, показав, що оптимальним режимом електроіонізації повітря є напруга 15000 В при експозиції 10 хвилин.

Література.

1. Адлер Ю.П. Введение в планирование эксперимента.-М.: Металургия, 1969.- 243 с.
2. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий.- М.: Наука, 1976.- 279 с.
3. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта.- М.: Агропромиздат, 1985.- 352 с.
4. Применение математических методов для исследования многокомпонентных систем. Сб. под ред. И.Г.Зедгенидзе и др. –М.: Металургия, 1974.- 352 с.
5. Соболев И.М., Статников Р.Б. «Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями»; М., 1985, 112с.

**SUBSTANTIATION OF THE OPTIMUM MODE OF ELECTRO-
IONIZATION OF AIR APPLIED TO THE STORAGE OF FRUITS
OF THE SWEET CHERRY**

Stepanenko D.S., Proskoornya T.O., Milayeva V. I.

The summary - A paper considers application of the method of multi-criterion optimization of schedule of the electro-ionization of air used for the storage of fruits of the sweet cherry.