

THE MULTICRITERIAN CHOICE OF BURGER FORMING MACHINE

V. Vasytkov, O. Chepeliuk, O. Chepeliuk

National University of Food Technologies

Key words:

Multicriterial choice
Spectral analyze
Pareto optimal solutions
Distance to the goal
Equipment
Technical level

Article history:

Received 09.01.2019
Received in revised form
24.01.2019
Accepted 08.02.2019

Corresponding author:

V. Vasytkov
E-mail:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

The selection of equipment for the production lines arrangement is a task of multicriteria choice, where the technical and economic indicators of the work of equipment samples serve as criteria. It is expedient to evaluate the equipment technical level with the use of quantitative and graphical methods. The essence, possibilities and results of the application of three methods of multicriteria choice — spectral analysis, Pareto and distance to the goal — are demonstrated on the example of the technical level evaluation of low-productivity burger forming machines.

The task of the selection of equipment that can provide production with the highest possible productivity and the lowest energy costs and overall sizes is solved. Eight samples of equipment from leading manufacturers are considered. As indicators, which were compared, the productivity, power consumption, capacity hopper, overall sizes and weight of equipment were selected. The importance of each of these indicators is taken into account. During the work it was found that the results obtained by these methods are the same: according to the selected criteria, the La Minerva C/E 653 1ph of the Italian manufacturer should be preferred.

The method of spectral analysis which involves comparing all the definite combinations of features which describe the object, has advantages over Pareto and motion to the goal methods, because it provides a generalized mathematical evaluation of the equipment samples which are considered and gives an opportunity to complex take into account all criteria that characterize the technical level of equipment and efficiency of his work. A method does not need the presence of the special skills of work with graphic information and it is most formalized.

The correctness of a decision primarily depends on the correct choice of indicators to be compared. In their composition, in the future it is necessary to include indicators of reliability and durability, as well as quality indicators of finished products.

БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИЙ ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ КОТЛЕТНИХ ВИРОБІВ

В.В. Васильков, О.М. Чепелюк, О.О. Чепелюк
Національний університет харчових технологій

Підбір обладнання для компонування технологічних ліній є задачею багатокритеріального вибору, де як критерії виступають техніко-економічні показники роботи альтернативних варіантів обладнання. Оцінювати рівень досконалості обладнання доцільно з використанням кількісних і графічних методів. Суть, можливості і результати застосування трьох методів багатокритеріального вибору — спектрального аналізу, Парето і відстані до мети — продемонстровані на прикладі оцінювання технічного рівня машин для формування котлетних виробів невеликої продуктивності.

У статті вирішено завдання вибору обладнання, здатного забезпечити випуск продукції з максимально можливою продуктивністю при найменших енергетичних витратах і габаритах. Розглянуто вісім зразків обладнання провідних виробників. Для порівняння було обрано такі показники: продуктивність, споживану потужність, місткість завантажувального бункера, габарити і масу обладнання. Враховано вагомість кожного із перерахованих показників. У ході дослідження встановлено, що результати, отримані цими методами, однакові: за обраними критеріями перевагу слід надати машині La Minerva C/E 653 Iph італійського виробника.

Метод спектрального аналізу, який передбачає порівняння всіх визначених комбінацій ознак, має переваги перед методами Парето і руху до мети, оскільки забезпечує узагальнену математичну оцінку зразків, що розглядаються, і дає можливість комплексно врахувати всі критерії, які характеризують технічний рівень обладнання та ефективність його роботи. Метод не потребує наявності спеціальних навичок роботи з графічною інформацією і є найбільш формалізованим.

Правильність рішення насамперед залежить від коректного вибору показників, що порівнюються. До їх складу в подальшому обов'язково необхідно включати показники надійності і безвідмовності роботи, а також якісні показники готової продукції.

Ключові слова: багатокритеріальний вибір, метод спектрального аналізу, метод Парето, метод відстані до мети, обладнання, технічний рівень.

Постановка проблеми. Компонування технологічних ліній для харчової промисловості пов'язано з певними складнощами, обумовленими потребою обґрунтовано обирати відповідне обладнання. Спеціалісти, які цим займаються, насамперед керуються власним досвідом, орієнтуючись, переважно, на вартість і продуктивність обладнання, впізнаваність торговельної марки. Але різноманіття пропозицій на ринку однакового цінового сегмента ускладнює це завдання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Методи обґрунтованого вибору обладнання для компонування технологічних ліній, які передбачають оцінювання і порівняння рівня його досконалості, активно розроблялися наприкінці ХХ ст., однак широкого застосування не отримали. Не змінилася суттєво ситуація і останніми роками, хоча окремі публікації, пов'язані з оцінюванням технічного рівня обладнання в різних галузях промисловості, зокрема харчовій [1], гірничо-видобувній [2], енергетиці [3], радіоелектроніці [4] з використанням графічних або кількісних методів, з'являються.

Окремо слід виділити наукові дослідження, присвячені проектуванню обладнання з функціональних модулів, в яких вирішується завдання оптимізаційного синтезу машин зі структурних елементів, характеристики яких порівнюються. Наукові школи, які займаються функціонально-модульним синтезом обладнання, зокрема машин для пакування харчової продукції, плідно працюють в НУХТ [5] і Луцькому НТУ [6].

Технічний рівень обладнання є відносною характеристикою його якості і базується на зіставленні показників, які характеризують його технічну досконалість, порівняно з базовими значеннями. Технічний рівень обладнання характеризують набором показників, які об'єднують в чотири групи: функціональні, технологічні, економічні, антропологічні. При оцінюванні альтернативних варіантів обладнання, кожен з яких характеризується набором параметрів, маємо багатокритеріальну задачу.

У загальному виді математична модель (ММ) багатокритеріального завдання описується виразом:

$$MM = \langle \eta, S, K, L, H, \varphi \rangle,$$

де η — тип багатокритеріального завдання (оптимізація, ранжирування, вибір), S — множина варіантів системи, яка оцінюється, K — множина критеріїв, за якими оцінюється система; L — шкала оцінок за кожним критерієм, H — система пріоритетів на множині варіантів S , φ — правило розв'язання, яке на множині варіантів S задає відношення переваг згідно із системою пріоритетів H .

Для пошуку кращого розв'язання необхідно множину варіантів S представити в просторі критеріїв K зі шкалами оцінок L і згідно із правилом розв'язання φ упорядкувати цю множину, використовуючи систему пріоритетів H .

Найбільш поширеними є два типи завдань — оптимізація і вибір, які відрізняються, насамперед, правилами розв'язання.

Детерміновані методи оптимізації функцій з багатьма змінними застосовують, якщо вдається окремі критерії, для кожного з яких визначена вагомість, звести до одного узагальненого (інтегрального) [7]. У випадку оцінювання технічного рівня устаткування розробити такий узагальнений критерій, врахувавши різні техніко-економічні аспекти, та забезпечити чутливість багатокритеріальної моделі, не вдається. Тому доцільно звернути увагу на методи багатокритеріального вибору найкращого варіанта з множини тих, які розглядаються. Теорія вибору і прийняття рішень може бути використана для проведення наукового аналізу всіх можливих варіантів технічних рішень для того, щоб знайти найбільш ефективне з них.

Незважаючи на наявність великої кількості розроблених методів, в математичній теорії вибору і прийняття рішень поки що немає загальноприйнятої стратегії вирішення практичних інженерних завдань і чітких критеріїв для порівняння самих методів вибору.

Мета статті: продемонструвати перспективи впровадження в освітній і виробничий процеси методів багатокритеріального вибору, що дасть можливість обґрунтовано приймати рішення, об'єктивно оцінювати технічний рівень і, відповідно, оснащувати підприємства найбільш ефективним устаткуванням, що на сьогодні визначає фінансову стабільність підприємств.

Матеріали і методи. Можливості використання трьох методів багатокритеріального вибору — методів спектрального аналізу, Парето і відстані до мети — для комплексного оцінювання технічного рівня обладнання продемонстровані на прикладі вибору найкращого варіанта машини для формування котлетних виробів малої продуктивності, щоб у закладі громадського харчування на малій площі з мінімальними витратами забезпечити випуск якісної різноманітної продукції.

Для восьми варіантів обладнання для формування котлетних виробів відповідних компаній — італійських «La Minerva» (машина La Minerva C/E 653) та «CRM» (машина Planus), німецької «GPM» (машина GPM AK-MR 400), англійської «Deighton» (машина Formatic R3000), іспанської «Gaser» (машина Gaser A-2000), російської Эльф 4М НПП (машина ИПКС — 123) та української «Карлівський механічний завод» (машина АК2М-40) — виконана комплексна оцінка технічних характеристик — продуктивності, потужності, розмірів завантажувального бункера, габаритів обладнання та його маси (табл. 1). Для спрощення під габаритом будемо розуміти об'єм, який займає обладнання.

Таблиця 1. Технічні характеристики машин для формування котлетних виробів

Характеристика машини	Марка обладнання							
	ABM F-2000	La Minerva C/E 653 1ph	PLANUS	FORMATIC R3000	AK2M-40-Y	ИПКС - 123	Gaser A-2000	GPM AK-MR 400
Номер варіанта	1 S ₁	2 S ₂	3 S ₃	4 S ₄	5 S ₅	6 S ₆	7 S ₇	8 S ₈
Продуктивність, шт./год	2000	3900	2100	3000	3900	1680	1900	2100
Потужність, кВт	0,75	0,7	0,37	0,75	0,55	0,55	0,75	0,37
Місткість бункера, л	20	23	32	15	20	50	20	32
Об'єм, м ³	0,189	0,166	0,297	0,29	0,373	0,312	0,183	0,6
Маса, кг	67	50	75	95	90	90	66	100

Рішення багатокритеріальної задачі оцінювання та вибору кращого варіанта *методом спектрального аналізу* передбачає заміну множини варіантів, що порівнюється, їх моделями. Ступінь збіжності об'єктів обчислюється не послідовним зіставленням окремих ознак, а зіставленням всіх можливих (або визначених) комбінацій ознак, що входять в опис об'єкта.

Розглянемо ряд варіантів конструкційного виконання обладнання S_1, S_2, \dots, S_j . Представимо цей ряд у вигляді матриці прийняття рішень:

$$M_{\text{пр}}(S) = \begin{matrix} S_1 \\ S_2 \\ \vdots \\ S_j \end{matrix} \begin{vmatrix} k_1 & k_2 & \dots & k_n \\ k_{11} & k_{12} & \dots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & \dots & k_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ k_{j1} & k_{j2} & \dots & k_{jn} \end{vmatrix}, \quad (1)$$

де S_1, S_2, \dots, S_j — альтернативні варіанти конструкційного виконання, які порівнюються; k_1, k_2, \dots, k_n — характеристики альтернативних варіантів (продуктивність, енергоспоживання, габарити, рівень автоматизації тощо); k_{im} — значення характеристики k_m для варіанта S_i ($i = 1 \dots j, m = 1 \dots n$).

Для переходу до безрозмірних характеристик альтернативних варіантів $\overline{k_{im}}$ виконують нормування:

$$\overline{k_{im}} = \begin{cases} \frac{k_{im}}{k_{im}'} & \text{якщо збільшення характеристики} \\ & \text{покрощує якість альтернативного варіанта} \\ 1 - \frac{k_{im}}{k_{im}'} & \text{якщо збільшення характеристики} \\ & \text{погіршує якість альтернативного варіанта} \end{cases} \quad (2)$$

де $k_{im}' = \max(k_{im})$ по стовпцю m матриці (1).

Якісні або описові характеристики можна віднести до категорій нечітких змінних, тому їх нормування виконується за іншими правилами.

За допомогою виразів (2) виконується перехід від матриці прийняття рішень $M_{\text{пр}}(S)$ до матриці рішень $M_p(S)$:

$$M_p(S) = \begin{vmatrix} \overline{k_{11}} & \overline{k_{12}} & \dots & \overline{k_{1n}} \\ \overline{k_{21}} & \overline{k_{22}} & \dots & \overline{k_{2n}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \overline{k_{j1}} & \overline{k_{j2}} & \dots & \overline{k_{jn}} \end{vmatrix}, \quad (3)$$

де $\overline{k_{11}}, \overline{k_{12}}, \dots, \overline{k_{jn}}$ — безрозмірні характеристики альтернативних варіантів.

Аналіз матриці $M_p(S)$ показує, що кожен її елемент $\overline{k_{im}}$ визначає ступінь наближення i -го варіанта за m -ю характеристикою до найкращого значення цієї характеристики для даного набору альтернативних варіантів.

Далі визначається ступінь вираженості характеристики g : якщо характеристика перевищує деякий заданий рівень, то вважають $g_{im} = 1$, інакше $g_{im} = 0$ ($i = 1 \dots j, m = 1 \dots n$).

Критичний рівень $k_m^{\text{кр}}$ вибирають так, щоб в отриманій спектральній матриці (M_c) не було рядків і стовпців, що складаються тільки з нулів:

$$M_c(S) = \begin{vmatrix} g_{11} & g_{12} & g_{1n} \\ g_{21} & g_{22} & g_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ g_{j1} & g_{j2} & g_{jn} \end{vmatrix}, \quad (4)$$

де $g_{im} = 1$ при $k_{im} \geq k_m^{kp}$, $g_{im} = 0$ при $k_{im} < k_m^{kp}$ ($i = 1..j, m = 1..n$).

Вплив характеристик на ефективність функціонування і якість досліджуваних конструкційних виконань обладнання визначають, виходячи з навантажень рядків (значимість об'єкта) і стовпців (значимість характеристики об'єкта) спектральної матриці $M_c(S)$. За теорією апарата тупикових тестів навантаження рядків (π) визначають з урахуванням навантаження стовпців (ω), а навантаження стовпців — з урахуванням навантаження рядків.

Для рядка:

$$\pi(\omega)_i^l = \sum_{m=1}^n G_{\omega m}^{l-1} \cdot g_{im}, \quad i = 1..j \quad (5)$$

де l — номер ітерації; G_{ω} — нормована вага стовпця.

Для стовпця:

$$\omega(\pi)_m^l = \sum_{i=1}^j G_{\pi i}^{l-1} \cdot g_{im}, \quad m = 1..n \quad (6)$$

де l — номер ітерації, G_{π} — нормована вага рядка.

Початкові ваги рядків і стовпців визначають за формулами:

$$G_{\pi i}^0 = \sum_{m=1}^n g_{im}, \quad i = 1..j; \quad (7)$$

$$G_{\omega m}^0 = \sum_{i=1}^j g_{im}, \quad m = 1..n. \quad (8)$$

Після визначення навантаження рядків і стовпців за формулами (5) і (6) розрахунок повторюють з урахуванням знайдених значень. Обчислення припиняють при отриманні заданої збіжності ітераційного процесу.

Оптимальність за Парето є одним із найпоширеніших критеріїв оптимальності як в економіці, так і в техніці. Для знаходження ефективних (Парето-оптимальних) варіантів застосовують принцип домінування. Припустимо, що варіанти, які порівнюються, оцінюються вектором критеріїв: $k = \{k_1, k_2, \dots, k_n\}$, $k_i \in K$, $i = 1..n$. Тоді варіант A домінує над варіантом B , якщо кожний із критеріїв k_i^A переважає або еквівалентний до відповідних до критеріїв k_i^B , причому хоча б для одного з них справедлива суворя перевага k_i^A над k_i^B . Якщо критерій k_i виражений кількісно і поліпшення варіанта відповідає його збільшенню, то знак переваги відповідає знаку «більше»: $k_i^A > k_i^B$. Якщо ж поліпшення варіанта відповідає зменшенню кількісно вираже-

ного критерію k_i , то знак переваги відповідає знаку «менше» $k_i^A < k_i^B$. Крім того, він може застосовуватися і до критеріїв, які не мають кількісного вираження (естетичні характеристики, безпека тощо).

Процедура вибору з використанням принципу Парето передбачає виділення з множини варіантів технологічного обладнання більш вузької множини — варіантів, які не гірші за інші за всіма критеріями і кращі хоча б за одним з них. Метод зручно використовувати в графічній інтерпретації на площині, почергово порівнюючи по два критерії. Він дає можливість вийти на ефективну границю, яка поєднує варіанти, які домінують над іншими і не мають домінування над собою. Варіанти, які лежать на ефективній границі, називаються Парето-оптимальними. Зменшити кількість альтернативних варіантів можна введенням обмежень на гранично допустимі значення критеріїв. Метод Парето при використанні ЕОМ може застосовуватися і для великої кількості критеріїв.

Іншим простим методом вирішення задачі багатокритеріального вибору є застосування інтегрального критерію *відстані до мети*. Суть методу полягає в обґрунтуванні ідеалу і оцінці міри наближення до нього кожного з варіантів вихідної множини альтернативних варіантів. Ідеальний варіант характеризує таку систему, для якої кожний із критеріїв досягає свого потенційно можливого найкращого значення, які можуть бути обґрунтовані теоретично або відповідати кращій реально досягнутій величині.

Для варіантів вихідної множини альтернативних варіантів визначають критерії k_i і відкладають їх на радіально розташованих шкалах (рис. 1). Шкали будують так, щоб поліпшення критерію йшло до центру (точка 0). З'єднуючи точки на шкалах для j -го варіанта, одержують багатокутник. На кращих значеннях критеріїв будують багатокутник ідеалізованого варіанта.

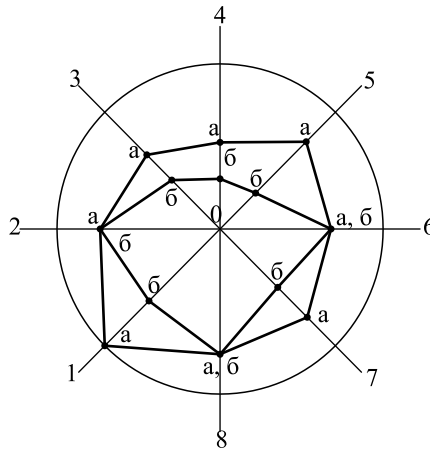


Рис. 1. Багатокритеріальна оцінка технічного рівня і якості машини за відстанню до мети

Узагальнений критерій відстані до мети μ визначається як відношення площі j -го варіанта до площі ідеалізованого:

$$\mu = \frac{\Pi_j}{\Pi_0}, \quad (9)$$

де Π_j і Π_0 — площі багатокутників j -го та ідеалізованого варіантів.

Результати і обговорення. Введемо позначення характеристик: продуктивність — k_1 , потужність — k_2 , місткість бункера — k_3 , об'єм — k_4 , маса — k_5 . Машини для формування котлетних виробів, у відповідності з табл. 1, позначимо $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8$. Тоді згідно з (1) матриця прийняття рішень має вигляд:

	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5
S_1	2000	0,75	20	0,189	67
S_2	3900	0,70	23	0,166	50
S_3	2100	0,37	32	0,297	75
$M_{np}(S) = S_4$	3000	0,75	15	0,29	95
S_5	3900	0,55	20	0,373	90
S_6	1680	0,55	50	0,312	90
S_7	1900	0,75	20	0,183	66
S_8	2100	0,37	32	0,600	100

Матрицю рішень $M_p(S)$ виду (3) отримаємо, нормуючи характеристики з допомогою формул (2). З перерахованих характеристик збільшення показників k_1 (продуктивність) і k_3 (місткість завантажувального бункера) покращує якість альтернативного варіанта, показників k_2 (потужність), k_4 (габарити), k_5 (маса) — погіршує.

$$M_p(S) = \begin{vmatrix} 0,51 & 0 & 0,4 & 0,69 & 0,33 \\ 1 & 0,07 & 0,46 & 0,72 & 0,5 \\ 0,54 & 0,51 & 0,64 & 0,51 & 0,25 \\ 0,77 & 0 & 0,3 & 0,52 & 0,05 \\ 1 & 0,27 & 0,4 & 0,38 & 0,1 \\ 0,43 & 0,27 & 1 & 0,48 & 0,1 \\ 0,49 & 0 & 0,4 & 0,7 & 0,34 \\ 0,54 & 0,51 & 0,64 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

Виходячи із аналізу характеристик машин для формування котлетних виробів, наведених в табл. 1, приймаємо такі критичні рівні характеристик:

$$k_1^{kp} = 0,6, \quad k_2^{kp} = 0,5, \quad k_3^{kp} = 0,7, \quad k_4^{kp} = 0,7 \quad \text{і} \quad k_5^{kp} = 0,1.$$

Тоді згідно з (4) спектральна матриця має вигляд:

$$M_c(S) = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Подальша схема розрахунку за отриманою матрицею наведена на рис. 2 (цифри в колах позначають послідовність кроків розрахунку).

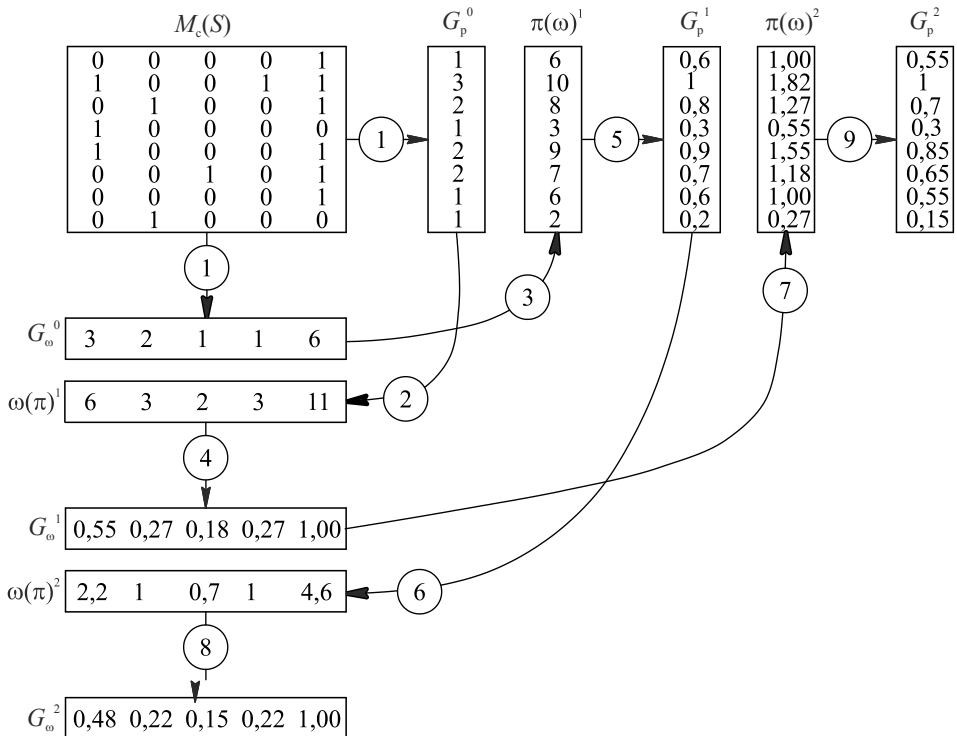


Рис. 2. Розрахункова схема вибору оптимального варіанта машини для формування котлетних виробів за спектральним підходом до визначення вагомості характеристик об'єкта

На першому кроці за формулами (7) і (8) визначаємо початкові вагу рядків G_π^0 і вагу стовпців G_ω^0 .

На другому кроці визначається навантаження стовпців $\omega(\pi)^1$ з урахуванням початкової ваги рядків G_π^0 . Наприклад, $\omega(\pi)_1^1 = 0 \cdot 1 + 1 \cdot 3 + 0 \cdot 2 + 1 \cdot 1 + 1 \cdot 2 + 0 \cdot 2 + 0 \cdot 1 + 0 \cdot 1 = 6$.

На третьому кроці — навантаження рядків $\pi(\omega)^1$ з урахуванням початкової ваги стовпців G_{ω}^0 . Наприклад, $\pi(\omega)_1^1 = 3 \cdot 0 + 2 \cdot 0 + 1 \cdot 0 + 1 \cdot 0 + 6 \cdot 1 = 6$.

Четвертий крок — нормування навантаження по стовпцях (G_{ω}^1), п'ятий — нормування по рядках G_{π}^1 .

На другому етапі (кроки 6—9) і наступних етапах розрахунку повторюють кроки 2—5.

Ітераційний процес сходиться до величин граничних навантажень. У цьому випадку для навантажень по рядках маємо:

$$G_{\pi} \approx (0,6; 1; 0,8; 0,3; 0,9; 0,7; 0,6; 0,2).$$

Отриманий результат дає можливість прийняти обґрунтоване рішення при виборі машини для формування котлетних виробів з варіантів, представлених в табл. 1. Встановлено, що найкраща інтегрована оцінка 1 характерна для S_2 — машини La Minerva C/E 653 1ph італійської компанії.

Для наочного представлення розв'язання поставленої задачі *методом Парето* для ряду варіантів почергово розглядалися по два критерії. Насамперед для восьми конструкційних виконань обладнання розглядали показники, які мають найбільшу вагомість — продуктивність, шт./год і потужність, кВт (рис. 3а). Напрямок по осі абсцис (потужність) обернений, оскільки оптимізація за критерієм потужності пов'язана з її мінімізацією. Точками 1—8 зображено варіанти машин для формування котлетних виробів. У цьому випадку варіанти машин, які домінують — це La Minerva C/E 653 1ph (точка 2), PLANUS (точка 3) і GPM AK-MR 400 (точка 8), так як вище і правіше немає варіантів покращення одразу по двом характеристикам.

Оскільки на ефективній границі розміщено три варіанти обладнання, слід розглянути такі за значимістю характеристики. Залишивши найбільш значущий показник — продуктивність, беремо до уваги місткість завантажувального бункера, л, яка за умови періодичності процесу формування впливає на тривалість допоміжних операцій і гігієнічність процесу. При цьому варіанти машин, які перебувають на ефективній границі — La Minerva C/E 653 1ph (точка 2) і ИПКС — 123 (точка 6).

Щоб отримати більш об'єктивне рішення, розглянута така характеристика — габаритні розміри обладнання, які в узагальненому виді представлені об'ємом, що займає машина. Для невеликих підприємств важливо мінімізувати площу і, відповідно, об'єм, займаний обладнанням. Тому напрямком вісі абсцис (об'єм) на рис. 3в обернений.

Варіантами обладнання, які переважають інші, і в цьому випадку залишилася машина La Minerva C/E 653 1ph (точка 2) і Gaser A-2000 (точка 7). Машина La Minerva C/E 653 1ph перебуває на ефективній границі для всіх розглянутих комбінацій параметрів. Отже, саме її доцільно обрати як таку, що має найбільшу серед розглянутих продуктивність при помірній споживаній потужності і невеликих габаритних розмірах.

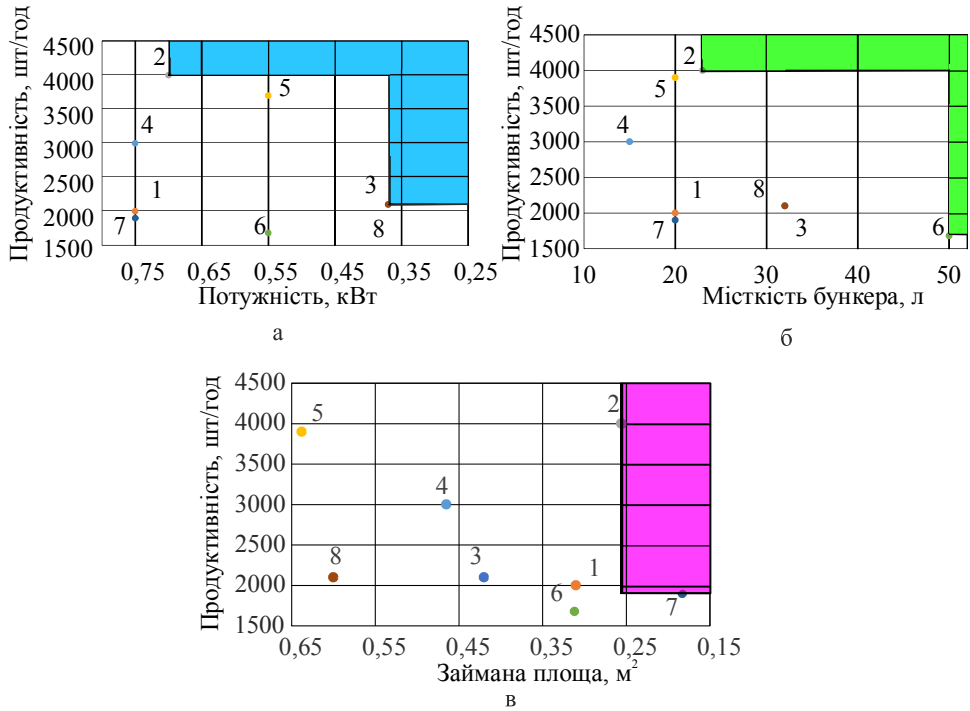


Рис. 3. Вибір найкращого варіанта машини для формування котлетних виробів на основі принципу Парето при параметрах, які розглядаються: а — продуктивність-потужність; б — продуктивність-місткість бункера, в — продуктивність-об'єм, займаний машиною

Для вирішення задачі вибору найкращого варіанта обладнання з вихідної множини восьми альтернативних варіантів машин для формування котлетних виробів *методом відстані до мети* визначені критерії k_i відкладені на радіально розташованих шкалах (рис. 4) та обчислені площі утворених фігур (табл. 2).

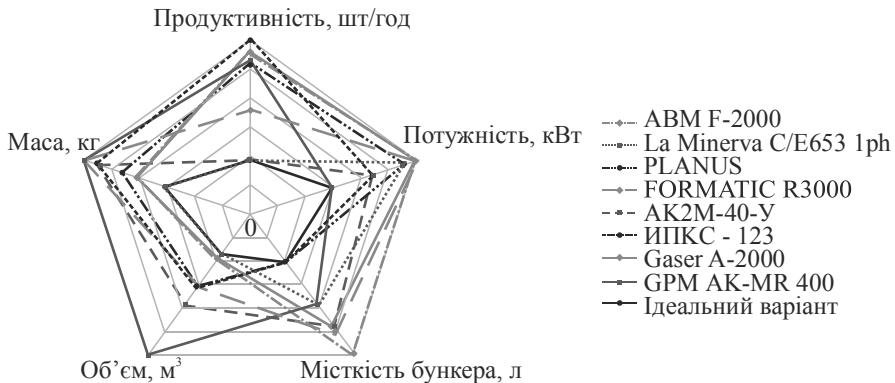


Рис. 4. Багатокритеріальна оцінка технічного рівня і якості машин методом відстані до мети

Таблиця 2. Узагальнений критерій відстані до мети

№ варіанта	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8
μ	2,86	1,51	2,61	3,63	3,20	2,94	2,86	4,98

Найменший узагальнений критерій відстані до мети ($\mu = 1,51$) має варіант S_2 — машина La Minerva C/E 653 1ph. Саме вона може вважатися найкращим варіантом серед розглянутих альтернатив.

Висновки

Для оцінювання технічного рівня обладнання доцільно використовувати методи багатокритеріального вибору. Вибір методу розв'язання обумовлюється уподобаннями і вміннями виконавців, які здійснюють оцінювання. На нашу думку, найдоцільнішим є застосування методу спектрального аналізу як такого, що дає можливість комплексно врахувати всі критерії, які характеризують технічний рівень обладнання та ефективність його роботи. Метод не потребує наявності спеціальних навичок роботи з графічною інформацією і є найбільш формалізованим.

Результати, отримані трьома розглянутими методами багатокритеріального вибору (спектрального аналізу, Парето і відстані до мети), однакові: проаналізувавши п'ять показників (продуктивність, потужність, місткість бункера, маса, габаритні розміри) восьми зразків обладнання для формування котлетних виробів різних виробників встановлено, що за обраними параметрами перевагу слід надати машині La Minerva C/E 653 1ph.

Правильність рішення насамперед залежить від коректного вибору показників, що порівнюються. До їх складу в подальшому обов'язково слід включати показники надійності і безвідмовності роботи, а також якісні показники готової продукції.

Література

1. Орлов В.В., Петрунина Е.Б. Выбор технологического оборудования по относительным показателям технической оценки на основе спектрального метода. *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: «Процессы и аппараты пищевых производств»*. 2013. №4. [электронный ресурс]. URL: <http://www.processes.ihbt.ifmo.ru>
2. Skotnicka-Zasadzień B., Biały W. An analysis of possibilities to use a Pareto chart for evaluating mining machines' failure frequency. *Maintenance and Reliability*. 2011. No. 3. P. 51—55.
3. Hennen M., Voll P., Bardow A. An adaptive normal constraint method for bi-objective optimal synthesis of energy systems. *Computer Aided Chemical Engineering*. 2014. No. 33. P. 1279—1284.
4. Тарадаха П.В., Надобко О.В., Киселичник М.Д., Недоступ Л.А. (2013). Розробка методу оптимізації процесів виготовлення радіоелектронної апаратури з використанням оптимізаційних Парето-областей. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Радіоелектроніка та телекомунікації*. 2013. No. 766. С. 187—193.
5. Кривопляс-Володіна Л.О., Гавва О.М., Деренівська А.В. Оптимізація синтезу пакувальних машин за критерієм ефективності. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. № 24(5). С. 115—123.
6. Пальчевський Б.О., Шаповал О.М., Великий О.А. Оптимізаційний синтез функціонально-модульної структури пакувального устаткування: монографія. Луцьк: Редакційно-видавничий відділ Луцького національного технічного університету, 2013. 165 с.
7. Belton V., T. Stewart. (2002). *Multiple criteria decision analysis: an integrated approach*. Kluwer Academic Publishers, Boston.