

В. В. Довгаль, к. т. н., доц.

ПОРІВНЯННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА ПО СУКУПНОСТІ ХАРАКТЕРИСТИК

Наведені показники ефективності вбудованих систем автоматизації, які можуть використовуватися при оцінці ефективності різних варіантів побудови системи. Розглянуто методи багатокритеріального порівняння ефективності різних варіантів побудови систем автоматизації виробництва, представлених безліччю показників якості. Описані недоліки відомих методів, заснованих на використанні результуючого показника ефективності, отриманого шляхом підсумовування зважених показників якості. Запропоновано процес пошуку оптимального рішення виконувати в два етапи: визначення множини перспективних технічних рішень, вибір оптимального рішення з попередньо визначеної множини перспективних рішень. На другому етапі необхідно використовувати адитивну функцію для згортання показників ефективності. Порівняння ефективності різних перспективних варіантів побудови системи автоматизації проводиться за результуючими показниками ефективності. Отриманий таким чином остаточний результат, порівняно з використанням адитивної функції для згортання показників ефективності без попереднього пошуку перспективних систем, є більш достовірним, тому що адитивна функція використовується лише для попередньо звуженої множини варіантів реалізації системи. Розроблено аналітичну процедуру пошуку перспективних технічних рішень, яка може бути використана на етапі пошуку множини перспективних варіантів побудови системи автоматизації.

Ключові слова: система автоматизації, ефективність системи, показники якості, векторно порівнянні системи, аналітична процедура.

Вступ. Оновлення виробничих потужностей підприємства може здійснюватися шляхом придбання сучасного обладнання або шляхом модернізації наявного. Сучасне технологічне обладнання містить вбудовані системи автоматизації (ВСА), що дозволяють підвищити його продуктивність і істотно поліпшити якість продукції, що випускається.

Зниження витрат на оновлення виробництва можна досягти шляхом попередньої оцінки ефективності різних варіантів його оновлення з метою вибору оптимального рішення. При цьому використовують наступні показники ефективності ВСА: витрати на придбання; тривалість робіт по демонтажу наявної і монтажу нової ВСА; вартість монтажних і пуско-налагоджувальних робіт; площі для розміщення ВСА; витрати на технічне обслуговування і ремонт; споживана потужність; гарантійний термін експлуатації; напрацювання на відмову; середній час відновлення; діапазон робочих температур; збільшення виходу кінцевої продукції з однієї і тієї ж кількості сировини; необхідна кількість технологічного персоналу; продуктивність обладнання; прибуток на одиницю матеріальних витрат; рівень зниження забруднень повітряного середовища під час використання нового обладнання та ін.

Таким чином, при співставленні різних варіантів побудови ВСА необхідно використовувати багатокритеріальний аналіз, який дозволяє здійснити вибір найкращого (оптимального) рішення.

Для кількісної оцінки характеристик складної системи використовується поняття «ефективність» [1, 2], під яким розуміється ступінь пристосування системи до виконання поставлених завдань. Кількісну оцінку ефективності виконують за допомогою критеріїв, що складаються з показників ефективності, кожен з яких є характеристикою однієї властивості системи.

Будь-яка складна система або її частина характеризується сукупністю (вектором) показників ефективності:

$$K = \langle q_1, q_2, \dots, q_m \rangle, \quad (1)$$

де $\{q_i\}$, $i = \overline{1, m}$ – окремі показники ефективності.

Широко застосовуються методи оптимізації, засновані на приведенні векторної оптимізації до скалярної, наприклад, метод, запропонований в роботі [3]. Такі методи передбачають введення результуючого (узагальненого) показника ефективності K_p , який визначається наступним функціоналом:

$$K_p = \Phi(k_1, k_2, \dots, k_m; \gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_m), \quad (2)$$

де Φ – функціонал, що забезпечує згортання сукупності окремих показників ефективності до результуючого показника; $\{k_i\}$, $i = \overline{1, m}$ – сукупність оцінок окремих показників; γ_i – вагові коефіцієнти окремих показників.

Однак узагальнені показники ефективності можуть виявитися неспроможними, оскільки у них є головна вада: недолік в одному показнику може бути компенсований за рахунок іншого показника.

У багатьох випадках обґрунтовано встановити аналітичний вигляд залежності (2) виявляється неможливим. При цьому для вирішення завдання оптимізації аналітичний вид функціонала (2) формують, використовуючи метод експертних оцінок. Оптимальному рішенню, що отримується таким чином, неминуче буде притаманний елемент суб'єктивізму.

Серед методів векторної оптимізації найбільшого поширення набув принцип Порето, що дозволяє звужити область пошуку оптимальних рішень. Сутність цього методу полягає в тому, що порівнюються вектори $K(S^1)$ і $K(S^2)$, що відображають ефективність систем S^1 і S^2 , тобто перевіряється умова:

$$K(S^2) \leq K(S^1). \quad (3)$$

Якщо умова (3) виконується, то перевага віддається системі S^2 . Якщо ж вектори непорівнянні, то системи S^1 і S^2 відносять до перспективних варіантів (область Порето). Для вибору рішення зі звуженої області рішень використовують методи, засновані на результуючому показнику ефективності.

Розбиття процесу оптимізації на два етапи – етап визначення області Порето і наступний етап вибору з цієї області ефективнішої системи (єдиної найкращої системи) на основі результуючого показника ефективності дозволяє мінімізувати погіршення результатів оптимального пошуку.

Для пошуку перспективних рішень в області можливих рішень в монографії [4] запропоновано метод робочих характеристик, що дозволяє, використовуючи властивість монотонності, відшукувати в просторі можливих рішень робочу поверхню, яка є кордоном області перспективних рішень. У цій же роботі запропонована аналітична процедура пошуку області перспективних рішень. Однак вона може бути застосована тільки в тому випадку, коли кількість окремих показників ефективності не перевищує двох ($m = 2$).

Мета роботи. Розробити ефективну аналітичну процедуру пошуку перспективних рішень в m -мірній області можливих рішень.

Постановка задачі. Формально задача пошуку оптимальної системи формулюється наступним чином. На першому етапі по заданих векторах ефективності K (1) в області можливих рішень W потрібно знайти область перспективних рішень $\Omega \subseteq W$. На другому етапі в області Ω необхідно знайти найкращий варіант системи $S_{opt} \in \Omega$, що забезпечує мінімум функціоналу результуючого показника ефективності K_p :

$$K_p(S_{opt}) = \min_{S \in \Omega} K_p(S), \quad \Omega \subseteq W. \quad (4)$$

Для зручності порівняння значень вектора K (1), що відповідають різним варіантам системи, всі показники якості k_i приводяться до стандартного вигляду:

$$k_i \geq 0, \quad (i = \overline{1, m}). \quad (5)$$

При цьому, чим менше величина k_i , тим ефективніша система.

Системи S^1 і S^2 можна порівняти по вектору якості $K = K(S)$, якщо виконується одна з наступних умов:

$$\left. \begin{array}{l} 1) \text{ або } K(S^2) \leq K(S^1), \\ 2) \text{ або } K(S^2) \geq K(S^1), \\ 3) \text{ або } K(S^2) = K(S^1). \end{array} \right\} \quad (6)$$

Якщо жодна з цих умов не виконується, то системи S^1 і S^2 непорівнянні по вектору K . Сенс векторних нерівностей (6) полягає в наступному:

1. Кожен з показників якості $k_i(S), (i = \overline{1, m})$ у системи S^2 не більший (не гірше), ніж у системи S^1 , в тому числі, щонайменше, один з цих показників менше (краще), ніж у системи S^1 . В цьому випадку стверджують, що система S^2 краща, ніж S^1 .

2. Всі показники якості $k_i(S), (i = \overline{1, m})$ у системи S^2 не менш (не краще), ніж у системи S^1 , в тому числі, щонайменше, один з цих показників більше (гірше). При цьому стверджують, що система S^2 менш ефективна, ніж S^1 .

3. Має місце рівність $k_i(S^2) = k_i(S^1), (i = \overline{1, m})$ і, отже, системи S^1 і S^2 мають однакову якість, тобто належать до одного і того ж класу систем.

Для векторно-порівнянних систем вводиться поняття безумовного критерію переваги, який формулюється таким чином: якщо виконується векторна нерівність $K(S^2) \leq K(S^1)$, тобто $k_i(S^2) \leq k_i(S^1)$ для всіх $i = \overline{1, m}$, в тому числі хоча б для одного i нерівність виконується суворо (тобто $k_i(S^2) < k_i(S^1)$), то система S^2 безумовно краща, ніж S^1 .

Аналітична процедура. При розробці аналітичної процедури пошуку перспективних систем в m -мірній області можливих рішень прийняті наступні поняття:

- базова система – система, що розглядається на поточному кроці процедури як початкова;
- поточна система – система, порівнювана з базовою системою на поточному кроці процедури.

Нижче представлена восьмикрокова аналітична процедура пошуку перспективних варіантів системи.

Крок 1. Записують всі варіанти системи і значення їх показників якості в таблиці 1.

Таблиця 1

Варіант системи	Показники якості					Результат
	k_1	k_2	k_3	...	k_m	

Крок 2. В якості базової системи приймають першу систему, записану в таблиці 1, в якості поточної системи вибирають другу систему і переходять до виконання кроку 3.

Крок 3. Порівнюють показники якості базової та поточної системи

Крок 4. Якщо в процесі порівняння виявили безумовно гіршу поточну систему (по відношенню до базової), то в графі «Результат» позначають її знаком «-». В якості поточної системи вибирають наступну не позначену знаком «+» або «-» систему, що не збігається з базовою системою, і переходять до кроку 3. Якщо таблиця переглянута до кінця, то переходять до кроку 8.

Крок 5. Якщо в процесі порівняння виявили безумовно кращу поточну систему (по відношенню до базової), то в графі «Результат» позначають базову систему знаком «-». В якості базової системи приймають знайдену безумовно кращу систему, а в якості поточної системи – наступну систему, не позначену знаком «+» або «-», що не збігається з базовою системою, і переходять до кроку 3. Якщо таблиця переглянута до кінця, то переходять до кроку 8.

Крок 6. Якщо в процесі порівняння виявлена поточна система векторно непорівнянна з базовою системою, то в якості поточної системи вибирають наступну систему, не позначену знаком «+» або «-», яка не збігається з базовою системою, і переходять до кроку 3. Якщо таблиця переглянута до кінця, переходять до виконання кроку 7.

Крок 7. Позначають в графі «Результат» базову систему знаком «+». В якості базової приймають першу не позначену знаком «+» або «-» систему. Якщо таблиця переглянута до кінця, то переходять до кроку 8. Інакше в якості поточної вибирають наступну не позначену знаком «+» або «-» систему і переходять до кроку 3.

Крок 8. Якщо в таблиці залишається одна не позначена знаком «+» або «-» система, то в графі «Результат» позначають її знаком «+» і завершують процедуру. Якщо ж в таблиці залишається більше однієї не позначеної знаком «+» або «-» системи, то в якості поточної вибирають наступну не позначену знаком «+» або «-» систему, яка не збігається з базовою системою, і переходять до кроку 3.

Приклад використання аналітичної процедури з виявленням безумовно кращої системи наведено в табл. 2. Тут розглядається абстрактна система, яка може мати 5 різних варіантів реалізації. Кожен варіант оцінюється п'ятьма показниками якості. Кількість варіантів реалізації, як і кількість показників якості, може бути довільною. Значення показників якості можуть бути отримані будь-яким відомим шляхом, наприклад, методом експертних оцінок.

У табл. 2 знаком «+» позначена єдина, безумовно краща система, а знаком «-» – безумовно гірші системи.

Таблиця 2

Варіант системи	Показники якості					Результат
	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	
S_1	2,5	4,2	2,5	3,7	4,2	-
S_2	7,2	6,3	7,2	5,2	4,7	-
S_3	3,1	4,2	3,1	4,3	4,4	-
S_4	4,2	5,3	4,2	4,8	4,3	-
S_5	2,4	3,6	2,5	3,6	4,0	+

На основі описаної вище аналітичної процедури розроблена програма, яка дозволяє автоматично виконати процес пошуку перспективних систем в області можливих рішень.

Результат роботи програми наведений на рис. 1.

Система	k1	k2	k3	k4	k5	k6	k7	Результат
S1	3,4	2,8	4,2	5,4	3,8	4,6	6,3	+
S2	3,5	3,2	4,4	5,7	4,2	4,9	6,4	-
S3	3,7	2,9	4,6	5,6	4,1	4,8	6,5	-
S4	3,7	3,0	4,8	5,9	4,0	4,7	6,6	-
S5	3,3	2,9	4,1	5,6	3,8	4,7	6,3	+
S6	3,6	3,0	4,5	5,8	4,3	5,0	6,5	-

Рис. 1. Результат роботи програми з пошуку перспективних систем

З рис. 1 видно, що системи S^1 і S^5 векторно непорівнянні, а тому вони віднесені до області перспективних систем (позначені знаками "+").

У разі, коли кілька систем є перспективними, тобто для них «Результат» характеризується знаком «+» (рис. 1), переходять до другого етапу оптимізації, коли для завершення процесу пошуку використовують зважену суму показників якості, яка визначається адитивною функцією. Кращим приймають значення вектора K , яке відповідає мінімальному значенню суми:

$$K_p = \sum_{i=1}^m c_i \cdot k_i \Rightarrow \min, \quad (7)$$

де $\sum_{i=1}^m c_i = 1$, c_i ($i = \overline{1, m}$) – деякі вагові коефіцієнти, визначені методом експертних оцінок.

Отриманий таким чином остаточний результат, порівняно з використанням адитивної функції для згортання сукупності окремих показників якості до результуючого показника без попереднього пошуку перспективних систем, є більш достовірним, тому що адитивна функція використовується тільки для попередньо звуженої області пошуку (виявленої множини перспективних варіантів реалізації системи).

Висновки. В роботі запропонована оригінальна аналітична процедура багатокритеріального вибору перспективних варіантів системи з множини допустимих варіантів. На основі процедури розроблена програма, яка може використовуватися під час аналізу різних варіантів оновлення технологічного обладнання підприємств з метою пошуку оптимального рішення. Процедура може бути застосована для різних систем, представлених безліччю показників ефективності.

Подальші дослідження з цієї теми планується проводити в напрямку пошуку аналітичного виду функціоналу (2), що зменшує, або виключає можливість компенсації недоліку одного показника якості за рахунок іншого.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Пархоменко П. П. Основы технической диагностики / П. П. Пархоменко, Е. С. Согомонян. – М. : Энергоиздат, 1981. – 320 с.
2. Хог Э. Прикладное оптимальное проектирование: механические системы и конструкции / Э. Хог, Я. Арора. – М. : Мир, 1983. – 478 с.
3. Митин Г. П. Как выбрать программируемый логический контроллер / Г. П. Митин // Мир компьютерной автоматизации. – 2000. – № 1. – С. 66 – 69.
4. Гуткин Л. С. Оптимизация радиоэлектронных устройств по совокупности показателей качества / Л. С. Гуткин. – М. : Советское радио, 1975. – 367 с.

Стаття надійшла до редакції 27.02.2018 р.

Стаття пройшла рецензування 06.03.2018 р.

Довгаль Володимир Володимирович – к. т. н., доцент кафедри автоматизованого управління технологічними процесами, ur4qqj@ukr.net.

Запорізька державна інженерна академія.