УДК 519.715

В.В. Довгаль, доцент, к.т.н.

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ МЕТАЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Запорожская государственная инженерная академия

Рассмотрены методы многокритериального поиска оптимальных технических решений систем автоматизации. Предложена аналитическая процедура поиска перспективных технических решений, которая может быть использована при выборе оптимального варианта модернизации технологического оборудования металлургических предприятий.

Ключевые слова: система автоматизации, эффективность системы, критерии эффективности, векторно-сравнимые системы, аналитическая процедура

Розглянуто методи багатокритеріального пошуку оптимальних технічних вирішень систем автоматизації. Запропоновано аналітичну процедуру пошуку перспективних технічних вирішень, яка може бути використаною під час вибирання оптимального варіанту модернізації технологічного обладнання металургійних підприємств.

Ключові слова: система автоматизації, ефективність системи, критерії ефективності, векторно-порівнянні системи, аналітична процедура

The methods of multicriteria search for optimal technical solutions of automation systems have been considered. It is proposed an analytical procedure for finding promising technical solutions, which can be used in selecting the optimal variant of modernization for technological equipment of metallurgical plants. Keywords: system of automation, efficiency of system, criterias of effectiveness, vector-comparable systems, analytical procedure

Введение. Известно, что качество продукции, выпускаемой предприятием, напрямую зависит от состояния и надежности работы существующего технологического оборудования. Металлургические предприятия Украины отличаются достаточно высоким (более 50 %) износом основного оборудования, значительными удельными затратами материальных и энергетических ресурсов на выпуск продукции, а также низкой производительностью труда, что снижает возможности для выпуска конкурентоспособной продукции.

Обновление производственных мощностей предприятия может осуществляться как путем приобретения современного оборудования, так и модернизации существующего оборудования. Современное технологическое оборудование содержит встроенные системы автоматизации (ВСА), позволяющие повысить его производительность и существенно улучшить качество выпускаемой продукции.

Снижение затрат на обновление производства можно достигнуть путем предварительной оценки эффективности различных вариантов его обновления с целью выбора оптимального решения. При этом используются нижеперечисленные показатели: затраты на приобретение оборудования; продолжительность работ по демонтажу существующего и монтажу нового оборудования; стоимость монтажных и пуско-наладочных работ; площади для

размещения оборудования; затраты на его техническое обслуживание и ремонт; энергоемкость оборудования; надежность ВСА; увеличение выхода конечной продукции из одного и того же количества сырья; требуемое количество технологического персонала; уровень снижения затрат на выпуск продукции; производительность оборудования; доля транспортных расходов в структуре себестоимости продукции; прибыль на единицу материальных затрат; уровень снижения загрязнений воздушной среды при использовании нового оборудования и др.

Таким образом, при сопоставлении различных вариантов обновления технологического оборудования необходимо использовать многокритериальный анализ, который позволяет осуществлять выбор наилучшего решения, то есть необходимо выполнить оптимизацию технологического оборудования.

Анализ известных методов оптимизации. Для количественной оценки характеристик сложной системы используется понятие «эффективность» [1,2], под которым понимается степень приспособления системы к выполнению поставленных задач. Количественную оценку эффективности выполняют при помощи критериев, составляемых из показателей эффективности, каждый из которых является характеристикой одного свойства системы.

Всякая сложная система или ее часть характеризуется совокупностью (вектором) показателей эффективности:

$$K = \langle k_1, k_2 \dots k_m \rangle, \quad (1)$$

где $[k_i], i = \overline{1, m}$ – частные показатели эффективности, количество m может быть значительно больше единицы.

Широко применяются методы оптимизации, основанные на приведении векторной оптимизации к скалярной, например, метод, предложенный в работе [3]. Такие методы предусматривают введение результирующего (обобщенного) показателя эффективности K_p , который определяется следующим функционалом:

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

где Φ – функционал, обеспечивающий приведение совокупности частных показателей эффективности к результирующему показателю; γ_i – весовые коэффициенты частных показателей.

Однако обобщенные показатели эффективности могут оказаться несостоятельными, поскольку наличие недостатка в одном показателе может компенсироваться за счет преимущества другого показателя.

Во многих случаях установление аналитического вида зависимости $K_p = f_p(k_1, k_2 \dots k_m)$ оказывается невозможным. При этом для решения задачи оптимизации аналитический вид функционала (2) формируется путем использования метода экспертных оценок, для которого неизбежным является элемент субъективизма.

Среди методов векторной оптимизации наибольшее распространение получил принцип Парето, позволяющий ограничить область поиска оптимальных решений. Сущность метода заключается в том, что сравниваются векторы $K(S_1)$ и $K(S_2)$, характеризующие эффективность систем S_1 и S_2 , то есть проверяется выполнение условия:

$$K(S_2) \leq K(S_1). \quad (3)$$

Если данное условие выполняется, то предпочтение отдается системе S_2 . Если же не выполняется, так как векторы являются несравнимыми, то системы S_1 и S_2 относятся к перспективным вариантам (область Парето).

При выборе оптимального варианта из ограниченной области решений используются методы, основанные на результирующем показателе эффективности. Такой подход позволяет минимизировать ухудшение результатов оптимального поиска.

Для поиска перспективных вариантов в области возможных решений в работе [4] предложен метод рабочих характеристик, который позволяет, используя свойство монотонности, находить в про-

странстве возможных решений рабочую поверхность, служащую границей области перспективных решений. Однако, предложенная аналитическая процедура поиска указанной области применима в случае, когда число частных показателей эффективности не превышает двух ($m = 2$).

Постановка задачи. Требуется разработать эффективную аналитическую процедуру поиска перспективных вариантов для m -мерной области возможных решений.

Основная часть. Задачу поиска оптимальной системы решают следующим образом. На первом этапе по заданным векторам эффективности K (1) в области возможных решений W находят область перспективных решений $\Omega \subseteq W$. На втором этапе в области Ω выбирают наилучший вариант системы $S_{opt} \in \Omega$, который обеспечивает минимум функционала результирующего показателя эффективности K_p :

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

Для удобства сопоставления значений вектора K из формулы (1), которые соответствуют различным вариантам системы, все показатели качества k_i приводят к стандартному виду: $k_i \geq 0, (i = \overline{1, m})$, при этом, чем меньше величина k_i , тем лучше система.

Системы S_1 и S_2 являются сопоставимыми по вектору качества $K = K(S)$, если выполняется одно из нижеприведенных условий:

– каждый показатель качества $k_i(S), (i = \overline{1, m})$ системы S_2 не хуже (не больше), чем системы S_1 , в том числе, один из этих показателей лучше (меньше), чем для системы S_1 ; тогда система S_2 лучше, чем система S_1 , то есть $K(S_2) \leq K(S_1)$;

– все показатели качества $k_i(S), (i = \overline{1, m})$ системы S_2 не лучше (не меньше), чем системы S_1 , в том числе, один из этих показателей хуже (больше), чем для системы S_1 ; тогда система S_2 хуже, чем S_1 , то есть $K(S_2) \geq K(S_1)$;

– имеется равенство $k_i(S_2) = k_i(S_1), (i = \overline{1, m})$, а, следовательно, рассматриваемые системы имеют одинаковое качество и принадлежат к одному и тому же классу, то есть $K(S_2) = K(S_1)$.

Для векторно-сопоставимых систем вводится понятие безусловного критерия предпочтения, когда векторное неравенство $K(S_2) \leq K(S_1)$ выполняется, то есть $k_i(S_2) \leq k_i(S_1)$ для всех $(i = \overline{1, m})$, в том числе хотя бы для одного показателя неравенство

выполняется строго $[k_i(S_2) < k_i(S_1)]$, и система S_2 безусловно лучше системы S_1 .

При разработке аналитической процедуры поиска перспективных систем в m -мерной области возможных решений приняты понятия: *базовая система*, рассматриваемая на текущем шаге процедуры как исходная; *текущая система*, сравниваемая с базовой системой на текущем шаге процедуры.

Ниже представлена последовательность выполнения аналитической процедуры поиска оптимального варианта системы по шагам.

Шаг 1. Записывают все варианты системы и значения их показателей эффективности в таблице вида:

Вариант системы	Показатели эффективности					Результат
	k_1	k_2	k_3	...	k_m	

Шаг 2. В качестве базовой системы принимают первую систему, записанную в таблице, в качестве текущей системы выбирают вторую систему и переходят к выполнению Шага 3.

Шаг 3. Сравнивают показатели качества базовой и текущей системы.

Шаг 4. Если в процессе сравнения выявили безусловно худшую текущую систему (по отношению к базовой), то в графе «Результат» отмечают ее знаком «-». В качестве текущей системы выбирают следующую неотмеченную знаком «+» или «-» систему, не совпадающую с базовой системой, и переходят к Шагу 3. Если таблица просмотрена до конца, то переходят к Шагу 8.

Шаг 5. Если в процессе сравнения выявили безусловно лучшую текущую систему (по отношению к базовой), то в графе «Результат» отмечают базовую систему знаком «-». В качестве базовой системы принимают найденную безусловно лучшую систему, а в качестве текущей системы выбирают следующую систему, неотмеченную знаком «+» или «-», не совпадающую с базовой системой, и переходят к Шагу 3. Если таблица просмотрена до конца, то переходят к Шагу 8.

Пример использования аналитической процедуры с выявлением безусловно лучшей системы приведен в табл. 1, здесь знаком «+» отмечена, безусловно, лучшая система, а знаком «-» – безусловно худшие системы.

Шаг 6. Если в процессе сравнения обнаружено, что текущая система векторно несравнима с базовой системой, то в качестве текущей системы выбирают следующую систему, неотмеченную знаком «+» или «-», которая не совпадает с базовой системой, и переходят к Шагу 3. Если таблица просмотрена до конца, переходят к выполнению Шага 7.

Шаг 7. Отмечают в графе «Результат» базовую систему знаком «+». В качестве базовой принима-

ют первую неотмеченную знаком «+» или «-» систему. Если таблица просмотрена до конца переходят к Шагу 8. В качестве текущей выбирают следующую неотмеченную знаком «+» или «-» систему и переходят к Шагу 3.

Таблица 1 – Результат применения аналитической процедуры поиска оптимального варианта системы

Вариант системы	Показатели эффективности					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	+

Шаг 8. Если в таблице остается одна неотмеченная знаком «+» или «-» система, то в графе «Результат» отмечают ее знаком «+» и завершают процедуру. Если же в таблице остается более одной неотмеченной знаком «+» или «-» системы, то в качестве текущей выбирают следующую неотмеченную знаком «+» или «-» систему, которая не совпадает с базовой системой, и переходят к Шагу 3.

На основе описанной выше аналитической процедуры разработана программа, которая позволяет автоматически выполнить процесс поиска перспективных систем в области возможных решений. Результаты работы разработанной программы представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты работы программы по поиску перспективных систем

Система	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	Результат
S_1	3,4	2,8	4,2	5,4	3,8	4,6	6,3	+
S_2	3,5	3,2	4,4	5,7	4,2	4,9	6,4	-
S_3	3,7	2,9	4,6	5,6	4,1	4,8	6,5	-
S_4	3,7	3,0	4,8	5,9	4,0	4,7	6,6	-
S_5	3,3	2,9	4,1	5,6	3,8	4,7	6,3	+
S_6	3,6	3,0	4,5	5,8	4,3	5,0	6,5	-

В случае, когда несколько систем являются перспективными, то есть для них «Результат» характеризуется знаком «+» (см. табл. 2), переходят ко второму этапу оптимизации, когда для завершения процесса поиска используют взвешенную сумму показателей эффективности, определяемую аддитивной функцией. Лучшим принимают значение вектора K , которое соответствует минимальному значению суммы:

$$K_p = \sum_{i=1}^m c_i \cdot k_i \Rightarrow \min, \quad (8)$$

где $\sum_{i=1}^m c_i = 1$, $c_i (i = \overline{1, m})$ – некоторые весовые коэффициенты, определенные методом экспертных оценок.

Выводы. Разработана методика многокритериального выбора наилучшего варианта системы автоматизации из множества допустимых вариантов,

позволяющая улучшить качество принятого решения при обновлении производственных мощностей металлургического предприятия.

Библиографический список

1. **Пархоменко, П. П.** Основы технической диагностики [Текст] / П. П. Пархоменко, Е.С. Согомонян. – М. : Энергоиздат, 1981. – 320 с. – Библиогр.: с. 312-319. – 12000 экз.
2. **Хог, Э.** Прикладное оптимальное проектирование: механические системы и конструкции [Текст] / Э. Хог, Я. Аро-ра. – М. : Мир, 1983. – 478 с. – Библиогр.: с. 471-478. – 5100 экз.
3. **Митин, Г. П.** Как выбрать программируемый логический контроллер [Текст] / Г. П. Митин // Мир компьютерной автоматизации. – 2000. – № 1. – С. 66-69. – Библиогр.: с. 69.
4. **Гуткин, Л. С.** Оптимизация радиоэлектронных устройств по совокупности показателей качества [Текст] / Л. С Гуткин. – М. : Советское радио, 1975. – 367 с. – Библиогр.: с. 362-366. – 10300 экз.

Стаття надійшла до редакції 28.11.2014 р.
Рецензент, проф. А.М. Ніколаєнко

Текст даної статті знаходиться на сайті ЗДІА в розділі Наука
<http://www.zgia.zp.ua>