

Рис. 3. Принципова схема тягового электропривода з керуванням за системою багатьох одиниць

#### Список літератури

1. Синчук О.Н. Перспективы развития шахтных (рудничных) электровозов с энергосберегающими видами тяговых электроприводов / О.Н. Синчук, С.В. Лебедкин, И.О. Синчук, О.О. Удовенко, О.В. Пасько // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. Луганськ: СХУ ім. В. Даля. – 2006. – № 8 (102). – С. 83 – 92.
2. Запорощенко Д.В. Радиосвязь для «Норильского никеля» / Д.В. Запорощенко // Горная промышленность. – 2004. – №2. – С.38-40.
3. Шахтная система мониторинга, оповещения и определения местоположения горнорабочих: патент РФ RU 2401947 C2 / А. В. Демидюк, Е. В. Демидюк; опубл. 16.01.2009
4. Система мониторинга электропоездов: патент РФ RU 2386563 C1 / В. Н. Костюков, А. В. Костюков; С. Н. Бойченко, В. А. Стариков, А. В. Щелканов; опубл. 20.04.2010
5. Капаев А.В. Радиосвязь под землей. Проблемы и пути решения / А.Е. Капаев, А.Е. Котова. // Горная промышленность. – 2004. – №1. – С.49 – 52.

Рекоменд

УДК 517.518.2

А.И. Швачка, Е.В. Лещенко, канд. техн. наук

(Украина, Днепропетровск, ГВУЗ "Украинский государственный химико-технологический университет")

### ПОИСК КОМПРОМИСНЫХ РЕШЕНИЯ ПО УПРАВЛЕНИЕ ПРИ НЕСКОЛЬКИХ КРИТЕРИЯХ КАЧЕСТВА

**Введение.** Энергетические проблемы в Украине требуют не только совершенствования и развития новой энергосберегающей техники, технологии и оборудования, но и существенного развития системы управления этими жизненно важными процессам в экономике страны [1]. Это изменяет саму постановку задач прогнозирования, планирования и управления, которые целесообразно рассматривать как векторные задачи (многокритериальные), для которых поиск лучшего (компромиссного) решения осуществляется на множестве отдельных показателей (критериев), зачастую противоречивых.

Свойство многокритериальности [2] имеет противоречивый характер. Помимо наиболее распространенного экономического критерия, важными могут быть энергетические, экологические и другие

факторы. Они учитываются обычно путем введения соответствующих ограничений при выборе наиболее экономичных решений. Это имеет достаточно серьезные основания, так как удовлетворение других (неэкономических) требований практически всегда связано с дополнительными затратами, поэтому экономический критерий выступает как обобщающий, позволяющий сопоставлять варианты решений при обеспечении требуемых уровней соблюдения остальных критериев. Главную трудность при этом представляет задание минимально необходимых уровней других критериев и определение требующихся для их удовлетворения экономических затрат. В редких случаях влияние неэкономических факторов может быть настолько велико, что характеризующие их показатели должны рассматриваться как равноправные критерии эффективности наряду с экономическими показателями. Свойство многокритериальности может проявляться в несовпадении критериев управления различных подсистем в составе системы. Учет свойства многокритериальности при управлении отражается как на применяемых математических моделях и методах, так и на общей методологии управления.

Наличие нескольких критериев создает неопределенность целей управления. Раскрытие этой неопределенности возможно только с участием человека. Конкретно это могут быть экспертные оценки при соизмерении критериев разной природы (например, экономических и экологических), оценки допустимости компромиссов и т.п. Многокритериальность и противоречивость интересов должны учитываться при согласовании целей управления подсистем и при комплексной постановке задач управления.

**Математический аппарат выполнения исследования.** Степень рациональности использования ресурсов, как правило, оценивается по нескольким показателям, каждый из которых желательно сделать как можно меньше при заданных ресурсах. Решение задач такого типа неоднозначны. Их формулировка выполняется с использованием бинарных отношений предпочтения теории принятия решений [3]. Смысл бинарных отношений заключается в последовательном попарном сравнении элементов в соответствии с установленным правилом предпочтения. Обычно для поиска множества нехудших решений используют отношения предпочтения Парето. Область Парето – это область компромиссов: все решения здесь равнозначны, а окончательный выбор решения связан с введением дополнительного условия, часто – субъективного характера.

Поиск решений, оптимальных по Парето, позволяет объективно сократить область возможного выбора. Главная особенность многокритериальных задач оптимизации заключается в том, что частные критерии противоречивы, т.е. улучшение одного приводит к ухудшению другого. В результате решения мы получили несколько недоминируемых (неулучшаемых) решений оптимальных в смысле Парето.

В задачах многокритериальной оптимизации в большинстве случаев выбрать абсолютно лучшее решение невозможно, так как при переходе от одного варианта к другому часто значения одних критериев улучшаются, а значения других ухудшаются. Состав таких критериев называется противоречивым, и окончательно выбранное решение всегда будет компромиссным. Компромисс разрешается введением тех или иных дополнительных ограничений или субъективных предположений. Поэтому невозможно говорить об объективном единственном решении такой задачи.

**Цель данной работы** – определение области компромиссных решений по нескольким критериям качества при управлении техническими объектами.

**Изложение основного материала.** Рассмотрим постановку задачи векторной оптимизации по трем показателям:  $f_1(x_1x_2x_3x_4)$ ,  $f_2(x_1x_2x_3x_4)$ ,  $f_3(x_1x_2x_3x_4)$ . Каждый из показателей желательно сделать как можно меньше.

Формальная запись условия задачи следующая:

$$\begin{pmatrix} f_1(x_1x_2x_3x_4) \\ f_2(x_1x_2x_3x_4) \\ f_3(x_1x_2x_3x_4) \end{pmatrix} \rightarrow \min,$$

а на значение  $(x_i)$  накладывается условие

$$x_i \in X \subseteq R_n.$$

Полагая, что

$$\begin{aligned} y_1(x_1x_2x_3x_4) &= f_1(x_1x_2x_3x_4); \\ y_2(x_1x_2x_3x_4) &= f_2(x_1x_2x_3x_4); \\ y_3(x_1x_2x_3x_4) &= f_3(x_1x_2x_3x_4), \end{aligned}$$

получаем возможность отобразить множество  $X$  в множество  $Y \subseteq R_3$  и исходную задачу сформулировать в виде

$$\begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{pmatrix} \rightarrow \min.$$

Решением задачи в представленном виде является такое множество  $A^*$ , что все его точки несравнимы по Парето.

Перенесем начало координат в точку  $O_1$  (рис. 1). В качестве осей принимаем  $O_1y_1', O_1y_2', O_1y_3'$

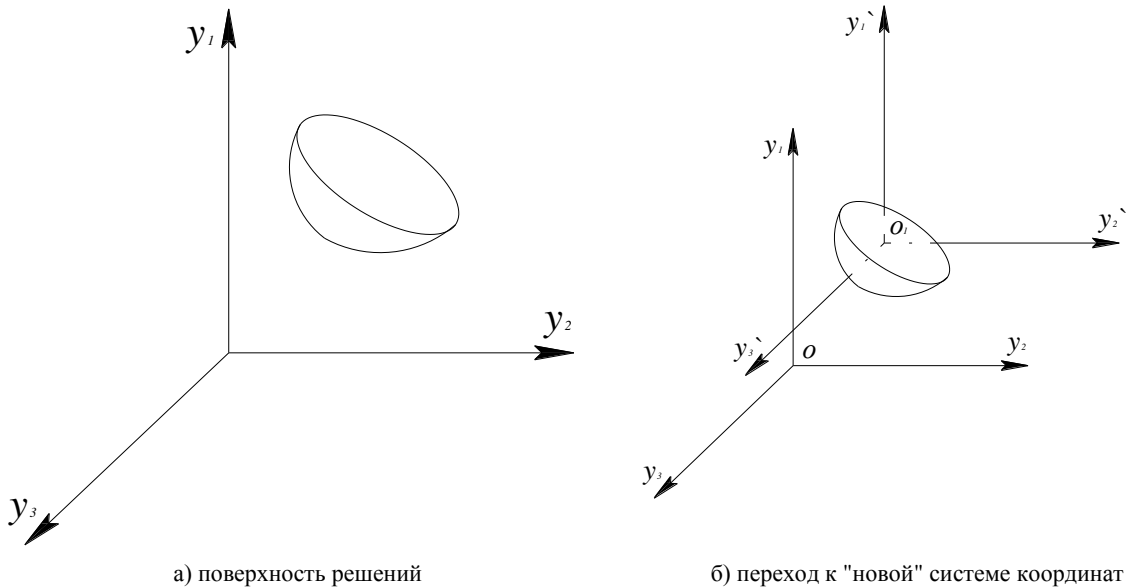


Рис. 1. Множество возможных решений в области искомых параметров

В "новой" системе координаты точки в пространстве определяются:

$$y_{1i}' = y_{1i} - y_{1min}$$

$$y_{2i}' = y_{2i} - y_{2min}$$

$$y_{3i}' = y_{3i} - y_{3min}$$

Чтобы не загромождать обозначения, вектор с компонентами  $y_1', y_2', y_3'$  запишем как  $y_1, y_2, y_3$ .

Перебор точек пространства и анализ конкурирующих решений выполняем с использованием понятия "конуса", рассмотренного А.А. Босовым [4] для двухмерного пространства.

Каждой точке пространства поставим в соответствие вектор. Начало вектора соответствует началу координат, конец вектора определяется положением данной точки в пространстве (рис. 2).

Пусть  $\hat{a}^* \in A^*$ , причем для любого  $\hat{a}_i \in A$  выполняется условие

$$\hat{a}_i \in \bar{\Gamma} \hat{a}_i^*;$$

$$\hat{a}^* < a_{i1}, \hat{a}_i < a_{i2}, \hat{a}_i < a_{i3} \dots$$

Пусть  $\hat{E}$  – конус, вершина которого находится в начале координат, а основание охватывает область пространства точек решений.

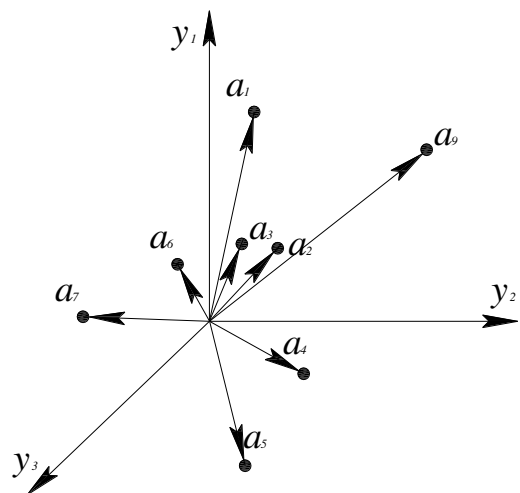


Рис. 2. Векторное представление точек решений

Сформируем понятие "конуса", принятое для решения задачи, в трехмерном пространстве (рис. 3). При этом из массива множества решений выбираем первый вектор. Задаем в плоскости относительно указанного вектора угол  $\alpha$  и выполняем поворот с помощью прямой, проведенной из начала координат под углом  $\alpha$  к рассматриваемому вектору в пространстве, получаем фигуру вращения – конус.

Тогда

$$\hat{E} \cap \hat{A} = \{\hat{a}^*\}.$$

В процессе построения конуса относительно отдельно взятого вектора в рассмотрение было принято ряд точек, соответствующим концам векторов из начала координат.

Сравнения попарно модули векторов, проведенных из начала координат внутри конуса, получаем одну точку локального оптимума, которая соответствует вектору с наименьшим модулем. Все рассмотренные в данном конусе точки исключаем из дальнейшего рассмотрения. Выбираем следующую, не охваченную конусом точку и строим относительно нее конус. Дальнейшая процедура поиска выполняется по аналогии с приведенной выше, т.е. обходим с использованием понятия конуса все пространство решений и выделяем по единственной точке решения внутри каждого конуса (рис. 4).

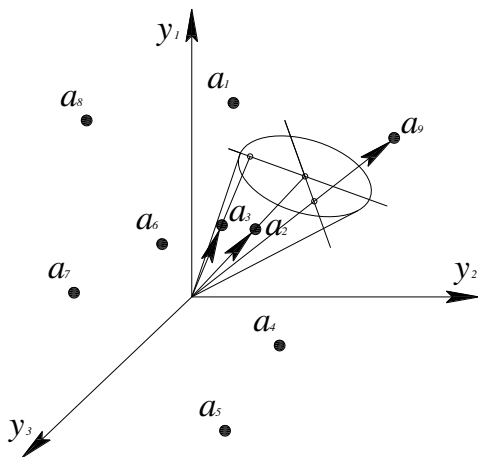


Рис. 3. Формирование понятия конуса для обхода пространства решений

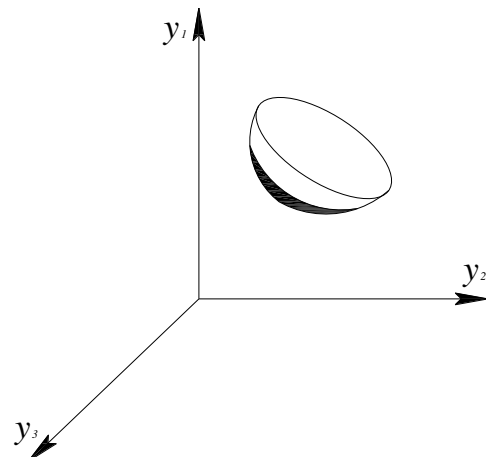


Рис. 4. Геометрическая интерпретация поиска компромиссных решений (заштрихованная область), обеспечивающего минимальные значения трех функций

**Практическое приложение результатов исследования.** В качестве объекта управления рассмотрена доменная печь №9 (5000м<sup>3</sup>) в условиях ПАТ "Арселор Миттал Кривой Рог". В соответствии с разработанной статической оптимизационной моделью по одному показателю [5], в задаче векторной оптимизации приняты следующие целевые функции:

$P(T_0, O_2, m, n)$  – производительность, т/час ( $P \rightarrow \max$ ),

$K(T_0, O_2, m, n)$  – расход кокса, кг/т чугуна ( $K \rightarrow \min$ ),

$T(T_0, O_2, m, n)$  – расход условного топлива, кг/т чугуна ( $T \rightarrow \min$ ),

где  $T_0$  – температура дутья, °С;  $O_2$  – содержание кислорода в дутье, %;  $m$  – доля углерода природного газа;  $n$  – доля углерода пылеугольного топлива.

Ограничения на параметры дутья (независимые переменные):

$$1000 \text{ }^\circ\text{C} \leq T_0 \leq 1200 \text{ }^\circ\text{C}, 21 \% \leq O_2 \leq 31 \%, 0 \leq m \leq 0,36, 0 \leq n \leq 0,4.$$

Задавая шаг изменения по каждой из независимых переменных ( $T_0, O_2, m, n$ ), выполняем поиск всех возможных точек решений функций ( $P, K, T$ ) одновременно удовлетворяющих заданным наборам параметров дутья в области физической реализуемости. Причем, степень детализации области поиска определяется шагом варьирования по каждой переменной.

После выполненных расчетов, на плоскости Р-К-Т можем отобразить множество точек решений согласно введенным ограничениям (рис. 5, а). Для более наглядного представления информационного материала точки решений были объединены поверхностью (рис. 5, б). Однако необходимо учитывать, что между двумя точками полученной поверхности промежуточное решение может отсутствовать.

Отрицательное значение функции Р на плоскости объясняется тем, что согласно рассматриваемому алгоритму все целевые функции должны стремиться к одному экстремуму (максимум/минимум). Поскольку рассматриваемая модель статическая и иные две функции Т и К требуют минимизации, то и функцию Р сводим к решению задачи минимизации. Для этого все коэффициенты полинома данной функции берем с противоположными знаками.

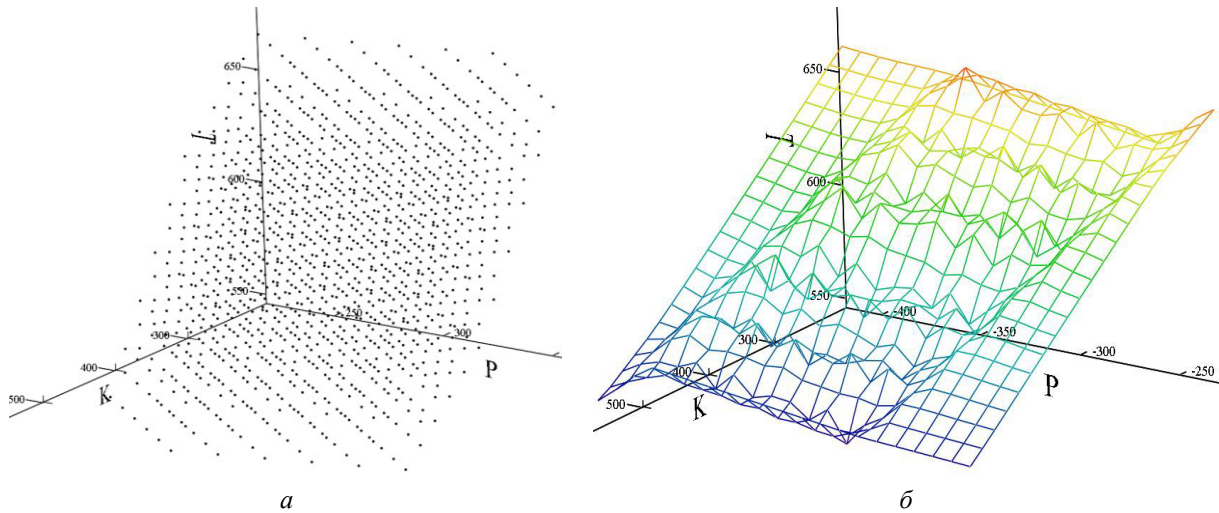


Рис. 5. Множество возможных решений в области P-K-T:  
а – точки решений, б – аппроксимация поверхностью

Полученное множество точек компромиссных решений представлено в виде рис. 6.

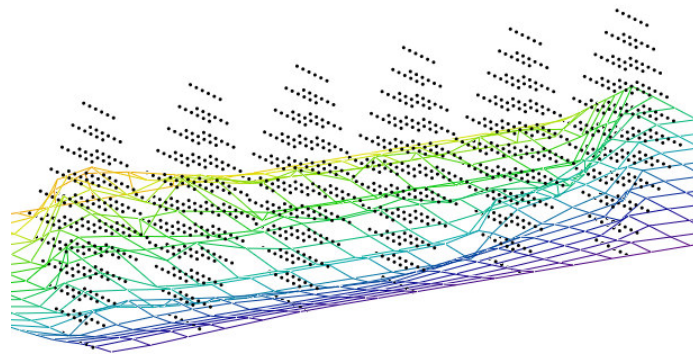


Рис. 6. Область компромиссных решений в плоскости P-K-T

Поверхность (для визуализации решения задачи) компромиссных решений объединяет точки, минимально удаленные от начала координат. Между отдельными точками этих решений могут отсутствовать промежуточные точки.

#### Выводы и перспективы дальнейших исследований

1. В результате проведенных исследований был предложен алгоритм, позволяющий оценить компромиссные решения по управлению, удовлетворяющие целевым функциям, имеющим противоречивый характер (минимум/максимум).
2. Предложенное множество решений не является оптимальным в обычном смысле (оптимизация по одному параметру), а представляет собой компромисс между рассматриваемыми функциями.
3. Данный подход может быть использован при выборе рациональных режимов ведения технологического процесса и оценки экономичности в условиях ограничения ресурсов.
4. При изменении характеристик энергии и сырья может быть выполнено прогнозирование области возможных управлений для обеспечения заданного производства.
5. Данный алгоритм может дополнить информационно-управляющую систему производственного процесса, а также повысить качество управления в диалоговом режиме.

#### Список литературы

1. Байбуз А.Г. Об использовании методов математического программирования в расчетах показателей доменной плавки [Текст] / А.Г. Байбуз, И.А. Лукьяненко, А.И. Швачка //Металлургическая теплотехника: история, современное состояние, будущее. К столетию со дня рождения М.А. Глинкова: тр. III научн. – практ. конф. – М.: МИСиС, 2006. – С.136 – 141.
2. Макаров И.М. Теория выбора и принятия решений [Текст] / И.М. Макаров, Т.М. Виноградова, А.А. Рубчинский. – М.: Наука, 1982. – 327 с.
3. Ногин В.Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход [Текст] / В.Д. Ногин. – М.: Физмат, 2002. – 144с.
4. Босов, А.А. Векторная оптимизация по двум показателям [Текст] / А.А. Босов, Г.Н. Кодола // Вісник ДНУЗТ. –

2007. – №17. – С. 31 – 37.

5. Бородулин А.В. Домна в энергетическом измерении [Текст] / А.В. Бородулин, А.Д. Горбунов, В.И. Романенко, Г.И. Орел. – Днепропетрджинск: Изд. – во Днепропетрджинского технического университета, 2006. – 450с.

**Рекоменд**

УДК 669.162-52

**И.Г. Гулина, А.Ю. Гусев, канд. физ.-мат. наук, В.И. Корниенко, д-р. техн. наук**  
(Украина, Днепропетровск, ГВУЗ "Национальный горный университет")

**В.Г. Макиенко, канд. техн. наук**  
(Украина, Мариуполь, ООО НПП "Азов-Черметавтоматика")

## **ВЫБОР КРИТЕРИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ИНЕРЦИОННЫМ ОБЪЕКТОМ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА**

### **Введение**

Технологические процессы (ТП) горно-металлургического производства, к которым относятся рудоподготовка, обогащение руды, выплавка чугуна и стали, занимают значительную часть в структуре потребления ресурсов, поэтому актуальным является снижение расходов на производство путем повышения качества систем автоматизированного управления (САУ) ним.

С позиций управления эти ТП являются сложными объектами управления (ОУ), содержащими нелинейные зависимости, нестационарные параметры, многосвязные переменные и высокий уровень помех. Кроме того, существенные трудности для повышения качества управления вызывает наличие у ОУ значительных инерционностей и времени запаздывания, составляющих десятки и сотни минут [1, 2].

Одним из путей повышения качества управления такими ОУ является использование оперативных показателей ТП, косвенно характеризующих их эффективность. Примером такого подхода является САУ процессом измельчения руды в барабанных мельницах по уровню ее заполнения [1].

### **Постановка задачи**

Рассмотрим решение задачи выбора критерия управления инерционным ОУ на примере совершенствования САУ тепловым состоянием (ТС) доменной печи (ДП). Тепловое состояние печи оценивают по содержанию кремния и серы в чугуне, температуре чугуна на выпуске и др. [3].

Для оценки этих показателей применяют расчетные способы и методики, позволяющие контролировать как ТС горна путем определения скорости опускания шихтовых материалов, так и положение, и температуру зоны размягчения и плавления [4]. Однако эти методики выполняются вручную и имеют низкую оперативность.

В связи с этим актуальным является выбор оперативного параметра, который коррелирован с показателями ТС ДП, и построение критерия управления на его основе, что позволит реализовать системы адаптивного и оптимального управления доменным процессом [5].

**Цель статьи** – обоснование оперативного параметра, тесно связанного с показателями инерционного технологического процесса и построение на его основе критерия автоматизированного управления.

### **Изложение основного материала**

Постоянный оперативный и достоверный контроль ТС печи важен как с точки зрения оптимизации ведения плавки, так и с точки зрения безопасной работы ДП. В этой связи получили широкое развитие косвенные методы диагностики (с контролем параметров сопутствующих процессов).

Наиболее информативным (в смысле возможности получения обобщенного параметра ТС ДП) представляется контроль циклов "накопления-выпуска" жидких продуктов плавки в горне печи, который оказывает основное влияние на нестационарность протекания ТП.

Так, при выпуске жидких продуктов плавки происходит вынос тепла с чугуном и шлаком, т.е. снижение теплосодержания ДП. При закрытии чугунной летки происходит обратный процесс – повышается теплосодержание. Таким образом, контроль циклов "накопление-выпуск" жидких продуктов плавки, которые характеризуются изменением уровня расплава (УР), – одним из наиболее объективных методов оценки ТС горна ДП [6].

Нами была использована информация, полученная от специальных термодатчиков контроля теплосодержания металлоприемника, разработанных ООО НПП "Азов-Черметавтоматика" и установленных на ДП-6 Нижне-Тагильского металлургического комбината. Датчики расположены в 4-х отверстиях по