УДК 517.518.2

А.И. Швачка, Е.В. Лещенко, О.Ю. Олейник

РАЗВИТИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЗАДАЧЕ ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕТОДАМИ ВЕКТОРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет», г. Днепропетровск

Рассмотрена проблема обоснованности принятия решения по векторному критерию оптимизации. Отмечено, что экономико-математическое моделирование позволяет определить оптимальный набор технологических параметров, обеспечивающих экстремальное значение одного из показателей процесса. Изучены методы векторной оптимизации при поиске компромиссных решений. Показано, что при наличии более одного критерия управления получена совокупность точек, обеспечивающих заданный режим.

Введение

В отличие от задач обоснования решений по скалярному критерию, результатом которых является оптимальная стратегия, в задачах с векторным критерием оказывается невозможно с абсолютной уверенностью утверждать, что то или иное решение, действительно оптимально. Одно из решений может превосходить другое по одним критериям и уступать ему по другим. Только со временем будет ясно, насколько верным было принятое решение.

Сложность проблемы принятия решений по векторному критерию даже в условиях определенности связана не столько с вычислительными трудностями, сколько с концептуальной обоснованностью выбора оптимального решения. Невозможно математически обосновать, что выбранное решение наилучшее и неулучшаемое одновременно по всем частным критериям, может оказаться наилучшим для конкретного лица принимающего решение в конкретных условиях.

Постановка задачи исследования

Экономико-математическое моделирование доменного процесса [1] позволяет определить оптимальный набор параметров, при котором достигается экстремальное значение одного из технико-экономических показателей. Для различных технико-экономических показателей оптимальные решения не совпадают между собой. Максимальная производительность достигается при иных значениях параметров, чем минимальный расход топлива.

Для организации режима плавки по дутьевому режиму в соответствии с технико-экономическими показателями необходимо обеспечить поиск управляющих воздействий, в частности, обеспечивающих рост производительности и снижение затрат толивно-энергетических ресурсов. Расчет одновременно двух и более показателей оптимальности не укладывается в традиционную задачу оптимизации по одному параметру [2]. Таким образом, необходимо разработать алгоритм поиска решений при оптимизации по более чем одному показателю.

Анализ метода 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 критерия. В результате решения мы получили несколько недоминируемых (неулучшаемых) решений оптимальных в смысле Парето.

Основная часть

В качестве примера объекта управления принята шахтная печь. В соответствии с разработанной статической оптимизационной моделью по одному показателю [4], в задаче векторной оптимизации приняты такие целевые функции:

$P(T_д, O_2, m, n)$ – производительность, т/ч ($P \to max$);

$K(T_д, O_2, m, n)$ – расход кокса, кг/т чуг ($K \to min$);

$T(T_д, O_2, m, n)$ – расход условного топлива, кг/т чуг ($T \to min$);

где $T_д$ – температура дутья, ^0C; O_2 – содержание кислорода в дутье. %; m – доля углерода природного газа; n – доля углерода пылеугольного топлива.

Ограничения на параметры дутья (независимые переменные):

$$1000^0C \le T_д \le 1200^0C,\ 21\% \le O_2 \le 31\%,\ 0 \le m \le 0{,}36,\ 0 \le n \le 0{,}4$$

Ограничения технологического типа имеют вид:

$$2000^0C \le T_{фз} \le 2300^0C,\ T_{кг} \le 0,\ rd \le 0,$$

где $T_{фз}$ – температура фурменной зоны, ^0C; $T_{кг}$ – температура колошникового газа, ^0C; rd – степень прямого восстановления железа.

Задавая шаг изменения по каждой из независимых переменной ($T_д$, 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.

Геометрическая интерпретация выполняемой процедуры представлены на рис. 1 и соответствует поиску в пространстве А области физической реализуемости A_1 такой, что $A_1 \in A$.

Переходим к условиям задачи при варьировании параметров дутья. После выполненных расчетов, на плоскости P–K–T можем отобразить множество точек решений согласно введенных ограничений (рис. 2,а).

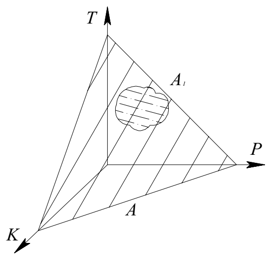


Рис. 1. Представление области решений A_1 на плоскости параметров А

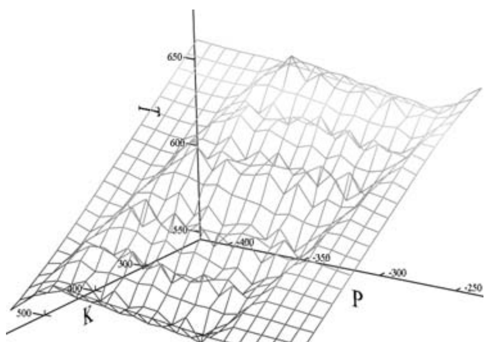


Рис. 2. Множество возможных решений в области P–K–T

Отрицательно значение функции (Р) на плоскости можно 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, К) требуют минимизации, то и функцию (Р) сводим к решению задачи минимизации. Для этого все коэффициенты полинома данной функции берем с противоположными знаками.

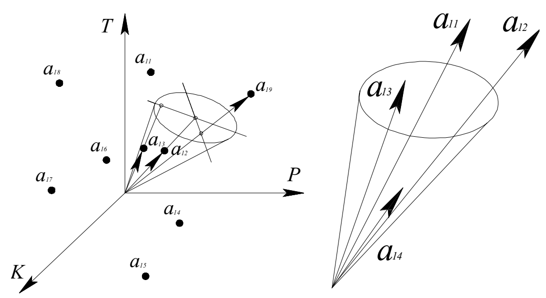
Для реализации дальнейшей процедуры поиска множество точек решений необходимо ограничить плоскостями P–K–T. С этой целью в рассматриваемой системе координат переходим к новой, начало координат которой соответствует точке (K_{min}, P_{min}, T_{min},).

Перебор точек пространства и анализ конкурирующих решений выполняем с использованием понятия «конуса» предложенного А.А. Босовым [5]. Для этого каждой точке пространства поставим в соответствие вектор. Начало вектора соответствует началу координат, конец вектора определяется положением данной точки в пространстве.

Сформируем понятие «конуса» принятое для решения задачи в трехмерном пространстве. При этом выбираем первый в рассмотрении вектор из массива множества решений. Задаем угол в плоскости (а) относительно указанного вектора и выполняем поворот с помощью прямой, проведенной из начала координат под углом (а) относительно рассматриваемого вектора в пространстве и получаем фигуру вращения – конус (рис. 3,а).

Угол (а), с помощью которого образован конус, задается опытным путем. Причем, следует учитывать, что его снижение обеспечивает более детальную процедуру поиска, но это сопряжено с увеличением числа вычислений, а также ростом числа компромиссных решений. В противном случае – число точек решений снижается при уменьшении объема вычислений.

В результате построения конуса (рис. 3,б) относительно отдельно взятого вектора в рассмотрение принято ряд точек, соответствующим концам векторов из начала координат.



а **б**

Рис. 3. Геометрическая интерпретация понятия «конуса» в трехмерном пространстве: а – построение конуса; б – попарное сравнение векторов

Выполняя попарно сравнение модулей векторов внутри конуса, получаем одну точку локального оптимума, которая соответствует вектору с наименьшим модулем. Все рассмотренные в данном конусе точки исключаются из дальнейшего рассмотрения. Выбираем следующую, не охваченную конусом точку и выполняем построения относительно нее конуса, дальнейшая процедура поиска по аналогии с приведенной выше. Т.о., обходим с использованием понятия «конуса» все пространство решений и выделяем по единственной точке решения внутри каждого конуса. Полученное указанным способом множество точек представляю область компромиссных решений (рис. 4,а), в том числе сравнение результатов моделирования (рис. 4,б) при наличии двух и трех критериев управления.

Выводы и перспектива дальнейших исследований:

1) в результате проведенных исследований был предложен алгоритм, позволяющий оценить компромиссные решения по управлению, удов-

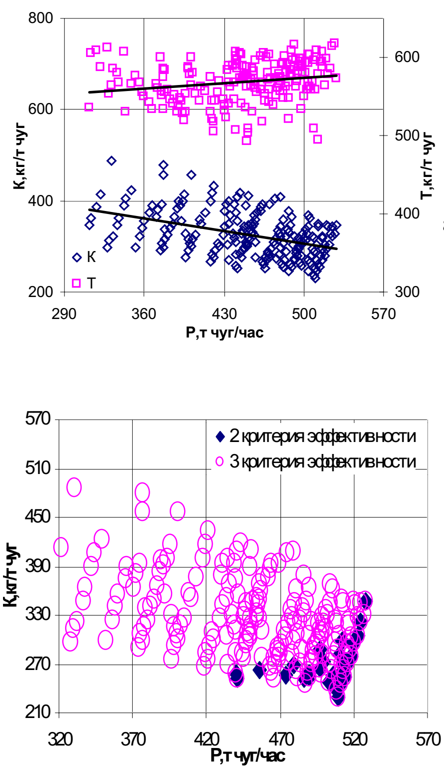
летворяющие целевым функциям: производительность, расход кокса, расход условного топлива;

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 в выборе рациональных температурно-тепловых режимов и оценки экономичности плавки при применении пылеугольного топлива в условиях ограничения ресурсов природного газа;

4) при изменении характеристик дутья может быть выполнено прогнозирование области возможных управлений для обеспечения заданного производства;

5) данный алгоритм может дополнить информационно-управляющую систему доменной плавки по дутьевому режиму, а также повысить качество управления в диалоговом режиме.



а

б

Рис. 4. Область компромиссных решений в плоскости : а – Р–К–Т; б – К–Р

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Домна* в энергетическом измерении / А.В. Бородулин, А.Д. Горбунов, В.И. Романенко, Г.И. Орел. – Кривой Рог, 2004. – 436 с.

2. *Ф.П. Васильев.* Численные методы решения экстремальных задач. – М.: Наука, 1980. – 518 с.

3. *Теория* выбора и принятия решений / И.М. Макаров, Т.М. Виноградова, А.А. Рубчинский, В.Б. Соколов. – М.: Наука, 1982. – 327 с.

4. *Об использовании* методов математического программирования в расчетах показателей доменной плавки / Байбуз А.Г., Лукьяненко И.А., Швачка А.И. и др. // Металлургическая теплотехника: история, современное состояние, будущее. К столетию со дня рождения М.А. Глинкова: Труды III научно-практической конф. – М.: МИСиС. – 2006. – С.136-141.

5. *Босов А.А., Кодола Г.Н.* Векторная оптимизация по двум показателям. // Вісник ДНУЗТ. – 2007. – № 17. – С.23-29.

Поступила в редакцию 1.07.2013