

А.И. Швачка, Е.В. Титова, О.Ю. Олейник, канд-ты техн. наук

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

РАЗВИТИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ БАЗЫ АСУТП ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ В УСЛОВИЯХ МНОЖЕСТВЕННОГО ВЫБОРА

Анотація. *Енергетичні проблеми української промисловості вимагають розвитку не тільки енергозберігаючої техніки, а й розвитку системи управління на підприємствах гірничо-металургійного комплексу. Це змінює саму постановку завдань планування і управління, які доцільно розглядати як багатокритеріальні. Вивчено методи аналізу компромісних рішень цих завдань. Розглянуто актуальні двукритеріальні задачі зниження енергоємності виробництва. Розроблено критерій прийняття рішення з урахуванням бази даних компромісних рішень в площині розглянутих параметрів на базі енергетичної характеристики і введення глобального критерію управління.*

Ключові слова: *гірничо-металургійний комплекс; двукритеріальні задачі; енергоємність виробництва; глобальний критерій управління.*

Аннотация. *Энергетические проблемы украинской промышленности требуют развития не только энергосберегающей техники, но и системы управления на предприятиях горно-металлургического комплекса. Это изменяет саму постановку задач планирования и управления, которые целесообразно рассматривать как многокритериальные. Изучены методы анализа компромиссных решений данных задач. Рассмотрены актуальные двукритериальные задачи снижения энергоёмкости производства. Разработан критерий принятия решения с учетом базы данных компромиссных решений в плоскости рассматриваемых параметров на основании энергетической характеристики и введения глобального критерия управления.*

Ключевые слова: *горно-металлургический комплекс; двукритериальные задачи; энергоёмкость производства; глобальный критерий управления.*

Abstract. *Energy problems of Ukrainian industry require not only the development of energy-saving technology, and the development of management systems at the enterprises of mining and metallurgical complex. This changes the very formulation of the planning and management tasks, which is appropriate to consider, as a multi-criteria. We studied the methods of analysis of trade-offs of these tasks. Showing expired two-criterion task of reducing energy intensity of production. A criterion for making a decision with regard to the plane of the considered parameters database compromises the data on the basis of the energy performance and the introduction of global governance criteria.*

Keywords: *mining and metallurgical complex; two-criteria problem; energy intensity of production; global governance criteria.*

Введение

В современной науке и технике все более актуальной является проблема повышение оперативности управления в условиях нестабильности топливно-энергетической базы, а также увеличение числа величин, определяющих критерий управления. Этот вопрос касается не только горной отрасли, но и многих других, в которых повышение требований к качеству продукции, ужесточение экологических и экономических требований диктует необходимость дальнейшего повышения эффективности производства. Это имеет достаточно серьезные основания, так как удовлетворение других (неэкономических) требований практически всегда связано с дополнительными затратами. Экономический критерий выступает, поэтому как обобщающий, позволяющий сопоставлять варианты решений при обеспечении требуемых уровней соблюдения остальных критериев. Основные трудности представляют при этом задание минимально необходимых уровней других критериев и определение требующихся для их удовлетворения экономических затрат. Учет свойства многокритериальности при управлении отражается на применяемых математических моделях и общей методологии управления.

Академик Моисеев Н.Н. отмечает [1], что работы в области методов принятия решений требуют создания не только специального математического обеспечения, но и развития знаний, позволяющих выявить истинную структуру интересов и целей субъектов. Возможность выбора взаимоприемлемого коллективного решения нельзя постулировать заранее, поскольку оно должно удовлетворять целому ряду очевидных требований. Прежде всего, они должны быть паретовскими.

Методы многокритериальной оптимизации предполагают активное участие людей в решении задач [2]. Наличие нескольких критериев создает неопределенность целей управления. Раскрытие этой неопределенности возможно только с участием человека. Конкретно это могут быть экспертные оценки при со-

измерении критериев разной природы (экономических, экологических), оценки допустимости компромиссов и т.п. Многокритериальность и противоречивость интересов должны учитываться при согласовании целей управления подсистем и при комплексной постановке задачи управления.

Цель исследования

Обоснование методики оценки экономической целесообразности снижения затрат энергоресурсов при одновременном повышении производительности технологической установки, которая требует: формирование базы данных компромиссных решений в плоскости рассматриваемых параметров и разработки критерия принимаемого решения на основании показателя тепловой работы.

Литературный обзор

Большинство агрегатов горно-металлургического комплекса не имеют обоснованных норм энергопотребления. Использование энергетических характеристик производства позволяет выразить зависимость между расходом энергии и выпуском продукции за данный период времени при одновременном учете основных факторов, влияющих на энергоиспользование [3].

Состав факторов, определяющих изменение расхода энергии, многообразен. По мере перехода от элементов производства к комплексам (от агрегата к цеху, от цеха – к заводу) состав факторов пополняется количественно и качественно новыми, что требует их переоценки. Так, если при построении характеристики отдельной технологической операции приходится сосредоточить внимание на анализе и учете технологических и энергетических факторов, то при построении характеристики процесса (цеха, завода) необходимо уделять главное внимание организационно-производственным факторам. К их числу относятся: тип производства, ассортимент продукции, размер брака и незавершенного производства, производственный режим, сезонные и метеорологические факторы.

Факторы процесса, с точки зрения энергетической характеристики, можно разбить на группы [4]:

- 1) приближенно неизменные в течение длительного времени, главным образом конструктивные показатели энергопотребляющего агрегата;
- 2) режимные показатели, отдельные показатели качества сырья, топлива и конечных продуктов, заведомо значимо влияющие на расход энергии, но которые не удалось включить в число рассматриваемых вследствие тех или иных недостатков или неполноты оперативного учета;
- 3) режимные показатели, качество сырья, топлива и конечных продуктов, которые принимаются по данным оперативного учета и которые оказались существенными;
- 4) аналогичные предыдущей группе, но которые после ранжирования факторов, а также факторов взаимодействия оказались несущественными;
- 5) случайные факторы, обусловленные различного рода неопределенностями (конструктивными – степень износа; технологическими – состав продукта, количество аварий; измерительными – состав и время отбора проб, организационными – частота ремонта, интенсивность эксплуатации).

Факторы вида 1 можно считать постоянными для некоторого довольно длительного периода времени. Факторы вида 2, 3, 4, 5 представляют собой шумовое поле, на фоне которого действуют значимые факторы.

Расход энергии (\mathcal{E}) за определенный отрезок времени как для отдельных процессов и агрегатов, так и для промышленных предприятий в целом можно представить в виде функциональной зависимости от объема производства (Π) [3]:

$$\mathcal{E} = f(\Pi) .$$

Энергетическая характеристика определяет точку оптимального режима операции – оптимальную величину нагрузки оборудования по мощности и соответствующий ей расход энергии (рис. 1), а также отражает количественную связь между энергетикой и технологией и представляет, таким образом, математическое описание уровня энергопотребления [4]. Она позволяет: выявить резервы экономии энергии на предприятии; установить оптимальные энергетические режимы работы оборудования; нормировать энергопотребление от операции до предприятия в целом; проанализировать энергоиспользование и разработать энергодобавочный баланс предприятия.

Энергетические характеристики могут быть построены на основе замеров, обработки производственных данных или расчетным путем. Влияние каждого из объективно действующих факторов на расход энергии может быть установлено в виде аналитической зависимости и на основе энергетических балансов доменной плавки. Используя энергетическую характеристику, можно оценить и влияние интенсивности плавки на тепловые потери рабочего пространства печи и на эффективность использования восстановительной энергии газа.

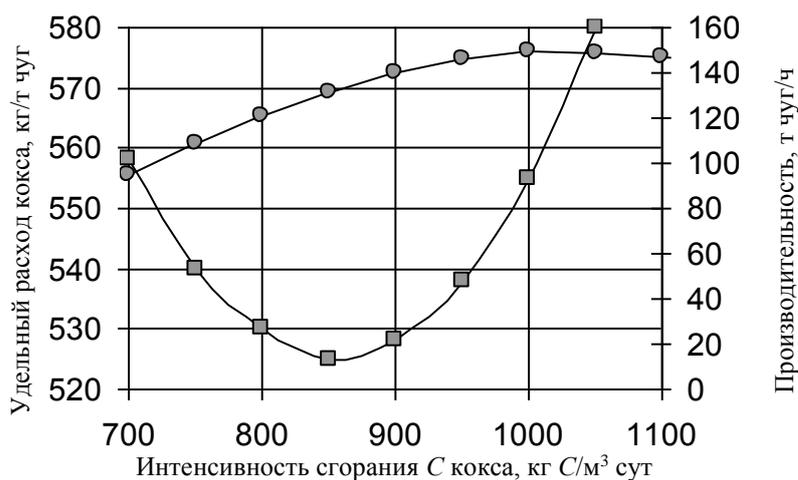


Рис. 1. Вид энергетической характеристики доменной печи №3 объемом 2000м³ ПАО «Северсталь»:
 ○ – производительность, т чугуна/ч;
 □ – удельный расход кокса, кг/т чугуна

Перейдем к вопросу многокритериальности в аспекте рассматриваемой проблемы. В отличие от задач обоснования решений по скалярному критерию, результатом которых является оптимальная (с точностью до предпосылок и допущений модели) стратегия, в задачах с векторным критерием оказывается невозможно с абсолютной уверенностью утверждать, что то или иное решение действительно (объективно) оптимально. Одно из решений может превосходить другое по одним критериям и уступать ему по другим. Сказать, какое из двух решений в указанных условиях объективно лучше другого, не представляется возможным. Вильфредо Парето обосновал принцип согласованного оптимума, ориентируясь на конфликтную ситуацию между несколькими субъектами с пересекающимися интересами (1870). Согласованный оптимум означает преобразование конфликтной ситуации в такую, в которой ни один из участников конфликта не может улучшить свое состояние, не причинив своими действиями вреда партнерам [5].

Одна из проблем в задачах многокритериального выбора – это поиск наилучшего решения внутри множества Парето. Как правило, выбор среди парето-оптимального решения возможен лишь за счет привлечения дополнительной информации о предпочтении лица, принимающего решение. Одним из наиболее распространенных видов дополнительной информации является информация об относительной важности критериев. Смысл данной информации состоит в том, что критериям приписывают некоторые коэффициенты (веса), определяющие их важность [6]. Как правило, эти методы являются эвристическими, и это обстоятельство приводит к тому, что результаты задачи зависят от выбора той или иной процедуры.

Результаты работ [7, 8] опираются на методологию, в которой удалось избежать указанных выше проблем. При этом оптимальные решения следует искать внутри множества Парето и дается четкое определение количественной информации об относительной важности критериев. Суть данного подхода состоит в построении оценки сверху с использованием понятия «конуса» для множества выбираемых решений за счет последовательного сужения множества Парето.

Основная часть

Для выполнения исследования выбрана печь шахтного типа. Таким объектом в горно-металлургической промышленности является доменная печь (ДП). Рассматриваемый период работы оборудования относится базовому режиму, определяемому оперативно-календарным планированием на месяц и более длительным сроком, которое выполняет производственный отдел по объему заказов с учетом состояния оборудования, определяемым техническим отделом. Его переменная составляющая связана с колебанием параметров сырья, ресурсом работы оборудования. Основные показатели плавки определены многофакторными нелинейными характеристиками, представленными полиномами второй степени [9]:

$$P, K, T_{\text{усл}} = f(t_{\text{дм}}, O_2, m, n),$$

где $t_{\text{дм}}$ – температура дутья, °C; O_2 – содержание кислорода в дутье, %; m (n) – доля углерода природного газа (пылеугольного топлива) от общего количества углерода, сгораемого на фурмах, д.е.; K – удельный расход кокса кг/т чугуна; P – производительность, т чугуна/ч; $T_{\text{усл}}$ – уд. расход условного топлива, кг/т чугуна.

Решение предложенной задачи топливоиспользования, когда в качестве целевой функции выступает один из указанных показателей, а остальные входят в состав ограничений, методами однокритериальной оптимизации обеспечивает учет переменных условий в базовых режимах плавки, текущих дутьевых параметров. В металлургическом же производстве основные технико-экономические показатели работы доменной печи должны быть на уровне, близком к оптимальному. Таким образом, рациональные реше-

ния, полученные относительно отдельного показателя необходимо скомбинировать в компромиссные. Причем, потери относительно каждого показателя должны быть минимальными.

В условиях изменения конъюнктуры рынка металлопродукции и постоянного роста стоимости энергоресурсов предложены ряд задач, требующих поиска компромисса между двумя параметрами:

1) превышение стоимости кокса, стоимости природного газа определяет необходимость решения задачи в пространстве $T_{усл\ min} - P_{max}$ (минимум удельного расхода условного топлива, обеспечивающий максимум производства);

2) переход на пылеугольное топливо (ПУТ) определяет целесообразность рассмотрения задачи векторной оптимизации в пространстве $K_{min} - P_{max}$ (минимум удельного расхода кокса, обеспечивающий максимум производительности);

3) при отсутствии спроса на чугун целесообразно решение задачи в пространстве $T_{усл\ min} - K_{min}$ (минимум использования сырья и энергии).

В соответствии с разработанной моделью топливоиспользования [9] в задаче векторной оптимизации принят второй вариант критерия эффективности:

$$(K, (-P)) \rightarrow \min.$$

Получены компромиссные решения показателей работы печи модели топливоиспользования в области «производительность – удельный расход кокса» (рис. 2, а). Выполнена оценка адекватности вариантов решений согласно предложенному алгоритму (понятие «конуса») в результате сопоставления с отчетными данными функционирования объекта и особенностей сырьевых условий (рис. 2, б).

С точки зрения технологии, в полученных точках решения (рис. 2, б), требует уточнения варианта, который принят для конкретных условий производства. Для этого следует выделить глобальный критерий оптимизации, который может быть сформулирован так:

1) определить возможность наращивания объемов производства при дополнительных издержках на расход топливно-энергетических ресурсов в стабильных экономических условиях;

2) оценить варианты экономии сырья и энергии при необходимости сохранения объемов производства на необходимом уровне для переходной экономики.

Энергетическая характеристика, построенная по результатам моделирования, представлена на рис. 2, б в виде аппроксимирующей кривой. Основная ее тенденция характеризуется первоначально снижением затрат энергии при повышении производительности; в дальнейшем тенденция изменяется и повышение производительности будет сопровождаться увеличением расхода энергии. Согласно энергетической характеристике локально оптимальным вариантом решения является нижняя точка характеристики, а для дальнейшего повышения производительности необходимо сопоставить его оценку с возможными затратами энергии. Для этого рассмотрена энергетическая характеристика вариантов решений с указанием затраченных энергетических ресурсов (рис. 3).

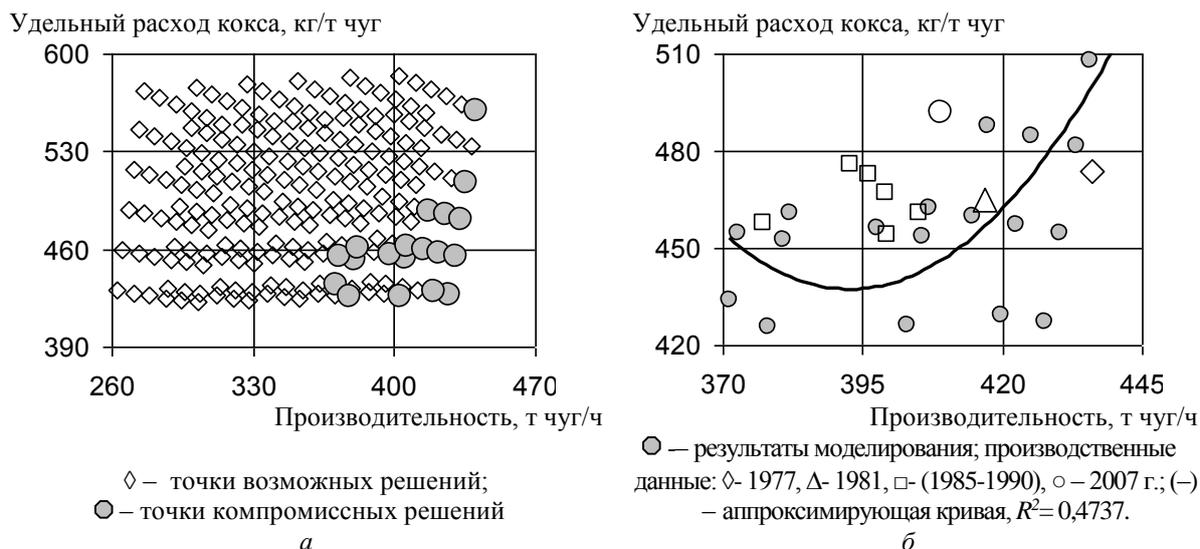


Рис. 2. Характеристики задачи поиска компромиссных решений в области «удельный расход кокса – производительность» для ДП №9 ПАО «АМКР»



Рис. 3. Характеристика дутьевого режима решения задачи векторной оптимизации в области «удельный расход кокса - производительность» для ДП №9 ПАО «АМКР» при отсутствии вдувания природного газа (ПГ) и изменении расхода пылеугольного топлива (ПУТ) (числовые значения возле точек, кг/т чугуна) и температуре дутья, содержанию кислорода:

○- (1200 °C; 27%); ○- (1200 °C, 29%);
 △- (1080 °C; 31%); △- (1140 °C; 31%);
 □- (1200 °C; 31%)

В результате анализа характеристики (рис. 3) выявлены определенные тенденции, которые объединены в тренды. Причем каждый из них соответствует постоянной характеристике по температуре дутья и содержанию кислорода в нем. Миграция указанных трендов слева направо на характеристике связана с повышением значений характеристик дутья: температуры – до 1200 °C, кислорода – до 31%; что соответствует верхним ограничениям на варьируемые переменные оптимизационной задачи.

Для реализации в системе принят технологический режим, соответствующий потреблению угольной пыли на уровне 136 кг/т чугуна, что обеспечивает производительность 403 т чугуна/ч, при издержках по коксу на уровне 426 кг/т чугуна. Целесообразность такого решения может быть оценена путем сравнения с точками, характеризующимися приблизительно таким же уровнем потребления кокса. Это могут быть точки 135, 137 (кг/т чугуна) в окрестности и перспективная точка 109 (рис. 3). Результаты проведенного анализа сведены в таблице. Показатели производства относительно рассматриваемой «базовой точки» отличаются приблизительно на одну и ту же величину (6,5%), а по величине затрат ресурсов – различные значения. Характерно, что производительность на уровне 428-430 т чугуна/ч может быть достигнута различными технологическими путями.

На данном этапе необходимо привлечение концепции о формировании глобального максимума с учетом наличия и объемов энергетической базы предприятия.

Следует отметить перспективность и целесообразность данного направления исследования в условиях энергетического кризиса, что позволит повысить оперативность и маневренность управления объектами горно-металлургического комплекса.

Таблица

Результаты анализа решения задачи векторной оптимизации в области «удельный расход кокса – производительность» на ДП №9 ПАО «АМКР»

Режим вдувания ПУТ, м ³ /т чугуна	Показатели ДП		Приращения, %		
	К, кг/т чугуна	Р, т чугуна/ч	Δ _{ПУТ}	Δ _К	Δ _Р
136 (1200, 29)*	426	403	Базовый режим		
135 (1200, 27)	426	378	-0,7	0	-6,2
137 (1200, 31)	427	428	+0,7	+0,2	+6,2
109 (1200, 31)	455	430	+19,9	+6,8	+6,7

* Температура дутья, °C; содержание кислорода в дутье, %

Выводы и перспектива дальнейших исследований

1. Предложен метод анализа компромиссных решений для объектов горно-металлургического комплекса, позволяющий расширить информационно-аналитическую базу принятия научно обоснованных решений в составе АСУ ТП в условиях нескольких критериев эффективности, а также оценить экономическую целесообразности перераспределения видов энергетических ресурсов на основании энергетической характеристики.

2. Варианты компромиссных решений базового режима технологического оборудования существенно конкурируют между собой, поскольку одни показатели производства могут быть обеспечены с учетом различных затрат по виду и объемам энергетических ресурсов. В такой ситуации авторами предложено применение глобального критерия управления.

3. Результаты исследования направлены на усовершенствование системы использования информации по математическим моделям, которые применяются при управлении как технологическими процес-

сами, так и производством в целом, при решении проблем энергосбережения, повышения качества и конкурентоспособности продукции на мировом рынке. Перспективность данного направления не вызывает сомнения и требует дальнейшей теоретической проработки и практической реализации с учетом специфики объектов горно-металлургического комплекса.

Список литературы

1. Моисеев Н. Н. Междисциплинарные исследования глобальных проблем // Публицистика и общественные проблемы : изб. тр. в 2-х томах / Н. Н. Моисеев – М. : Тайдекс Ко, 2003. - т. 2. 264с.
2. Подиновский, В. В. Об относительной важности критериев в многокритериальных задачах принятия решений / В. В. Подиновский// Многокритериальные задачи принятия решений. - 1978. - С. 48 - 82.
3. Гофман И. В. Энергетические характеристики промышленного производства // Известия академии наук СССР. Отделение технических наук. №12, 1948- с. 1803- 1818.
4. Виленский Н. М. Нормы энергопотребления в промышленности. / Н. М. Виленский, Ю. Б. Клюев, Р. С. Резникова. - Свердловск : Академия наук СССР. Уральский филиал. Отдел экономических исследований. 1968. - 58 с.
5. Лопатников Л. И. Экономико-математический словарь: Словарь соврем. экон. науки / Л. И. Лопатников; Под ред. Г. Б. Клейнера; Акад. нар. хоз-ва при Правительстве РФ. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Дело, 2003. – 519 с.: ил. – ISBN 5-7749-0275-7.
6. Бородулин А.В. Домна в энергетическом измерении/ А.В. Бородулин, А.Д. Горбунов, В.И. Романенко, Г.И. Орел.- Кривой Рог- 2006, 436с.
7. Швачка А.И. Поиск компромиссных решений по управлению при нескольких критериях качества / А.И. Швачка, Е.В. Лещенко // Гірнична електромеханіка та автоматика. –Вип. 89. – С. 66 – 71.
8. Швачка А.И. Развитие информационной базы принятия управляющих решений по ведению доменной плавки / А. И. Швачка, А. Л. Чайка, Зайцев В.Г. // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. – 2012. – Вып. 26. – С. 52–61.
9. Бородулин А. В. О путях оптимизации параметров комбинированного дутья при выплавке чугуна/ А. В. Бородулин, О. В. Дубина, И. А. Лукьяненко В. И., Романенко А. Л. Чайка, А. И. Швачка // Тр. межд. науч. – техн. конфер. «Пылевидное топливо – альтернатива природному газу при выплавке чугуна Д. : УНИТЕХ, 2006. – С. 193 – 207.

Рекомендовано до друку: д-ром техн. наук, проф. Корсуном В.І.