

А.И.Швачка¹, В.Г.Зайцев², И.А.Лукьяненко³, А.В.Бородулин⁴

СТАБИЛИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПЛАВКИ В УСЛОВИЯХ ФОРСИРОВАНО РАБОТАЮЩИХ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ

1 – Днепропетровский химико – технологический университет,

2 – Днепропетровский национальный университет,

3 – ОАО «МК им. Ильича», 4 – ИЧМ НАНУ

При анализе доменной плавки предложено учитывать особенности процесса, которыми при обычных расчетах пренебрегаются. Показана целесообразность проведения оптимизации одновременно для нескольких параметров с использованием метода векторной оптимизации. Расчет стабилизации дутья в доменную печь по расходу и давлению позволит снизить затраты энергетических ресурсов.

Введение. Доменная печь, как объект управления, относится к нестационарным объектам со сложной взаимосвязью входных и выходных параметров. Анализируя традиционные методы и средства управления параметрами системы подачи дутья в доменную печь, рассмотренные в работе [1], отметим, что они не удовлетворяют возросшим требованиям производства чугуна. Низкий учет отдельных характеристик информационных потоков обуславливает не учтенные потери, которые в конечном итоге снижают технико-экономические показатели печи. Необходимо повысить информативность и обоснованность принимаемых решений. Следует выполнить предварительный анализ входной информации, а также ее оценку с целью выбора наиболее эффективных режимов плавки. Решение задачи представим как последовательность следующих шагов:

- учет неопределенности исходной информации;
- решение задачи многокритериальной оптимизации;
- регулирование (стабилизация) подачи дутья на входе в домну.

Цель работы – учет неопределенности при принятии решения по стабилизации дутьевого режима форсировано работающих доменных печей.

О неопределенности исходной информации. Неопределенность исходной информации (расход и температура горячего дутья, внешние потери теплоты, степень использования восстановителей и др.) обусловлена сложными процессами внутри доменной печи, высокими температурами, агрессивностью и токсичностью сред в аппарате, отсутствием надежных методов контроля и другими факторами. Учет неопределенности информации выполним сопоставлением между собой вариантов решения, которые рассчитаны для одного и того же сочетания исходной информации при детерминированных данных с использованием понятия платежной матрицы [2].

Фактором неопределенности в нашем примере приняты тепловые потери рабочего пространства доменной печи ($Q_{\text{прп}}$), величина которых в данной работе изменяется от $Y_1 = 0$ (адиабатный процесс в домне) до $Y_4 = 75$ МВт. В пла-

тежной матрице используются ячейки, количественно характеризующие эффект от взаимодействия факторов неопределенности (Y_i) и оптимизируемых величин (X_j). Этот эффект оценен для расхода кокса ($K \rightarrow \min$, кг/т чугуна)– и производительность печи ($P \rightarrow \max$, т/час). Оптимизируемые переменные определяются совокупностью параметров комбинированного дутья: температурой, содержанием кислорода, расходом природного газа. Для данных условий показатели доменной плавки рассчитаны по предложенному И.Д.Семькиным теплоэнергетическому методу (рис.1) и построены платежные матрицы (табл.1). Решения о выборе варианта реализации принималось на основании критериев теории решения Вальда, Лапласа, Сэвиджа, Гурвица и обобщенного [3]. Результаты расчета по указанным критериям представлены в табл.2. Наилучшие результаты по производительности доменной печи и удельному расходу кокса (P_4 , K_4) смещаются в область с наименьшими, по условиям эксперимента, внешним потерями.

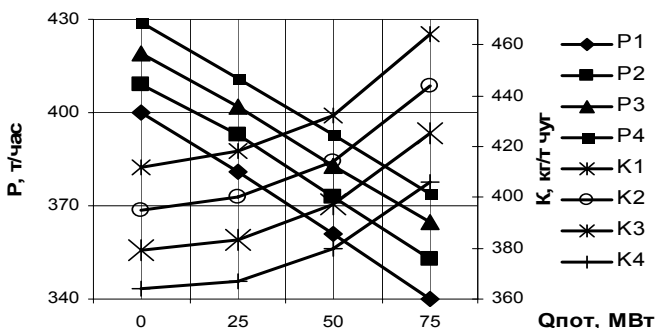


Рис. 1 Область решений задачи в условиях неопределенности

Таблица 1. Результаты расчета платежной матрицы

	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
($K \rightarrow \min$), кг/т чугуна				
X_1	412	418	432	464
X_2	395	400	414	444
X_3	379	383	397	425
X_4	364	367	380	406
($P \rightarrow \max$), т/час				
X_1	400	381	361	340
X_2	409	393	373	353
X_3	419	402	383	365
X_4	429	411	393	374

Таблица 2. Результаты расчета критериев оценки принятия решения

Наименование критерия	Числовое значение	Оптимальный вариант
($K \rightarrow \min$), кг/т чугуна		
Вальда	406	X_4
Лапласа	379	
Сэвиджа	0	
Гурвица	396	
Обобщенный	369	
($P \rightarrow \max$), т/час		
Вальда	374	X_4
Лапласа	402	
Сэвиджа	0	
Гурвица	391	
Обобщенный	391	

Оптимизация доменного процесса по нескольким параметрам

При постановке задачи сделано предположение, что по условиям доменной плавки целесообразно выполнить поиск одновременно нескольких компромиссных параметров (рост производительности при одновременном снижении расходов кокса и условного топлива).

Метод векторной оптимизации позволил обобщить в себе все указанные выше требования. Точность полученных результатов определяется точностью модели при постановке задачи, а также практическими соображениями по реализации системы. Решение задачи начинается с определения приоритета оптимизируемых параметров по важности в производстве. Применительно к дутьевому режиму доменной печи параметры процесса расположены в следующей последовательности [4]:

- 1) ($P \rightarrow \max$, т/час) – производительность доменной печи;
- 2) ($K \rightarrow \min$, кг/т чугуна) расход кокса;
- 3) ($T \rightarrow \min$, кг/т чугуна) расход условного топлива.

Предварительно решается задача по максимизации производительности печи на установленной области параметров с учетом ограничений. Полученное значение производительности определяется заданными параметрами дутья. Расчет условий снижения расхода кокса необходимо начать с определения области параметров, в которой осуществляется поиск. Поэтому, относительно параметров дутьевого режима, определяющих первое эффективное решение, выделяется допустимая область (делается уступка по возможности реализации системы с повышенной производительностью). В этой ограниченной, относительно первой задачи, области выполняется поиск решений. Для полученного оптимального значения расхода кокса также выделяют область существования решений и в ней осуществляют поиск наименьшего значения расхода условного топлива. Общая схема по предложенному алгоритму сформулирована так:

1. Пусть x_{01} – решение задачи $P1 = \max P(x)$, $x \in X(1)$.
2. Пусть x_{02} – решение задачи $P2 = \min K(x)$, $x \in X(2)$.
3. Пусть x_{03} – решение задачи $P3 = \min T(x)$, $x \in X(3)$.

Результаты решения задачи пошагово представлены в табл.3.

Таблица 3. Показателей плавки при решении задач векторной оптимизации

№ шага	Показатели доменной плавки		
	P , т/час	K , кг/т чугуна	T , кг/т чугуна
1	$P_{\max}=398$	427	594
2	387	$K_{\min}=363$	614
3	289	497	$T_{\min}=566$

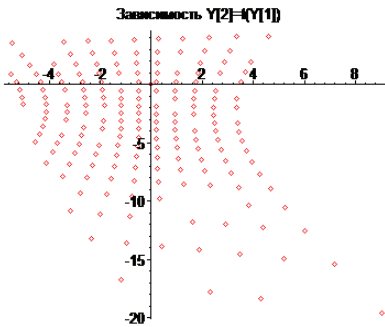


Рис.2. Взаимосвязь между производительностью печи Y_1 и расходом кокса Y_2 в задаче векторной оптимизации

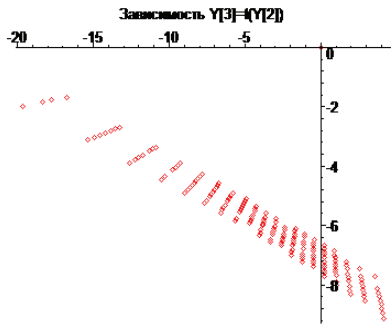


Рис.3. Взаимосвязь между расходом кокса Y_2 и условным топливом Y_3 в задаче векторной оптимизации

Получена функциональная взаимосвязь между производительностью печи и расходом кокса, а также расходом кокса и условным топливом представлены на рис.2 и 3. На рис.2 точка с координатами (0, 0) соответствует производительности печи (ось X) – 386,0 т/час и расходу кокса (ось Y) – 392,0 кг/т чугуна. Соответственно, на рис. 3 имеем точку (0, 0) со значениями: расход кокса (ось X) – 392,0 кг/т чугуна и расход условного топлива (ось Y) – 611,0 кг/т чугуна.

Метод платежной матрицы оценивает, но не позволяет в полном объеме исключить неопределенность исходной информации. Максимальная производительность печи и минимум расхода кокса достигаются при максимальном нагреве (в нашем примере 1200⁰С) и обогащении дутья кислородом до максимальной величины, принятой в ограничениях – 31%. Минимальный расход условного топлива достигается при максимальном в ограничениях нагреве воздушным дутьем и минимальном расходе природного газа. Необходимо ориентироваться на выявление нескольких рациональных вариантов, окончательный выбор из которых делается человеком.

Регулирование подачи дутья в доменную печь

На основании оптимальных параметров процесса может быть построена система стабилизации дутья по расходу (давлению) на входе в доменную печь. В этом направлении выполнено исследование характерных режимов нагрузки в системе «турбовоздуходувка (ТВД) – доменная печь» [5, 6].

На рис.4 представлены тренды основных параметров дутья в условиях работы системы автоматического регулирования (САР) и без нее (по данным ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог» и фирмы «ССС», США). Независимо от сопротивления сети параметры дутья, подаваемые в дому, поддерживаются постоянными по расходу и давлению; система позволяет выполнять пуск агрегата в автоматическом режиме; разгон агрегата для ликвидации резких изменений давления воздуха при заполнении воздухо-

нагревателей; система автоматически поддерживает заданное содержание кислорода в дутье [6].

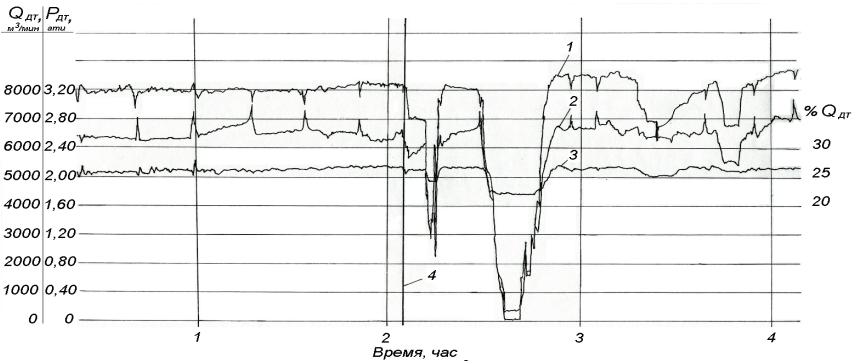


Рис.4. Давление $P_{дт}$, атм (1), расход $Q_{дт}$, $m^3/мин$ (2) и содержание кислорода в дутье $\%O_{дт}$ (3) при работе турбокомпрессоров с САР и противопомпажной защитой (слева от разграничительной линии 4) и без САР (справа от разграничительной линии 4) на доменной печи № 9.

Сопоставление технических показателей доменной плавки и технико-экономическая оценка влияния автоматической стабилизации параметров доменного дутья на показатели работы доменной печи №9 ОАО «АМКР» выполнено согласно руководящему документу [7] по методике расчета приведенного расхода кокса, разработанной И.Г. Товаровским и представлено в табл.4. Результаты расчетов и показатели работы доменной печи № 9 рассмотрены с ноября 2003 по апрель 2005г. в базовые (А I, В I) без автоматизации и сопоставимые периоды (А II, В II). Экономия кокса на доменной печи № 9 в периоды работы с автоматизацией составила 3–4 кг кокса/т чугуна.

Таблица 4. Влияние стабилизации дутья на показатели доменной печи

Показатели	Периоды работы ДП№9			
	(А I)	(А II)	(В I)	(В II)
Период работы печи, дата	01.02.04 – 31.03.05	01.05.05 – 10.06.05	06 – 16.10.04	01 – 12.10.05
Длительность работы, суток	60	61	11	12
№ воздухоудвухных машин	ТВД 13/14	ТВД 12/13	ТВД 13/14	ТВД 2/14
Стабилизация параметров дутья	нет	есть	нет	Есть
Содержание кремния в чугуне, %	0,81	0,77	0,86	0,83

Расход условного топлива, кг/т чугуна	580	581	579	573
Удельный расход кокса, кг/т чугуна	452,5	442,0	440,6	441,2
Приведенный расход кокса, кг/т чугуна	–	449,3	–	436,3
Сокращение приведенного расхода кокса кг/т чугуна	–	–3,2	–	–4,3

Выводы. Метод платежной матрицы оценивает, но не позволяет в полном объеме исключить неопределенность исходной информации. Необходимо ориентироваться на выявление нескольких рациональных вариантов, окончательный выбор из которых делается человеком. Специфика доменного производства определяет необходимость проведения оптимизации одновременно для нескольких параметров. Для этой цели предложено использование метода векторной оптимизации. Данный подход может быть использоваться при прогнозировании и выборе рациональных температурно-тепловых режимов доменной плавки на печи № 9 ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог» в условиях ограничения ресурсов природного газа.

1. *Дома в энергетическом измерении.* / А.В.Бородулин, А.Д.Горбунов, В.И.Романенко и др. – Кривой Рог: СП «Мир», 2004. – 412с.
2. *Системный подход при управлении развитием электроэнергетики* / Л.С.Беляев, Г.В.Войцеховская, В.А.Савельев и др. – Новосибирск: Наука, 1980. – 238с.
3. *Ногин В.Д.* Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход. – М.: Физмат, 2002. – 144 с.
4. *Применение методов векторной оптимизации к выбору параметров комбинированного дутья при использовании пылеугольного топлива.* / В.Г.Зайцев, А.Л.Чайка, А.И.Швачка и др. // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – 2000. – Вип. 3 (56). – Том 2. – Дніпропетровськ. – С.71–80.
5. *Швачка О.І., Чайка О.Л., Осташико І.А.* Антипомпажні заходи по захисту турбоповітряних машин подачі дутьтя у домену піч. // III Международная научно-техническая конференция «Информационные системы в горно-металлургическом комплексе», 21–24 апреля 2008. – С.71–73.
6. *К вопросу стабилизации дутьевого режима в доменной печи.* / В.И.Романенко, А.Г.Швец, А.В.Бородулин и др. // Вестник горно – металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии: Сб. науч. трудов. Вып. 16. Ред. Г.В.Галевский. Сибирский государственный индустриальный университет. – Новокузнецк, 2006. – С.101–110.
7. *Доменные печи.* Нормативы расхода кокса. Руководящий документ. ТУ МЧМ СССР. / В.Г. Антипов, А.П. Пухов, И.Г. Товаровский и др. – Днепропетровск – М., 1987. – 14 с.

Статья рекомендована к печати докт.техн.наук И.Г.Товаровским