

Д.А. ДЕМИН, канд. техн. наук, доцент, НТУ «ХПИ»

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПЛАВКОЙ

У статті описана методологія формування функціонала для розрахунку оптимального управління електроплавкою на основі двох альтернативних міркувань - максимізації продуктивності устаткування і мінімізації витрат при його функціонуванні. Запропонована методологія розрахунку оптимального управління процесом електроплавки на основі представлення печі як елементу системи масового обслуговування «піч – ливарний конвейер».

In the article methodology of forming of functional is described for the calculation of optimum management metallurgical process on the basis of two alternative considering are maximizations of the productivity of equipment and minimization of expenses at his functioning. Methodology of calculation of optimum metallurgical process control is offered on the basis of presentation of stove as element of the queuing system «stove is a casting conveyer».

1. Введение

Технологический процесс электроплавки, как сложная динамическая система, характеризуется изменением своих состояний во времени. Каждое из состояний описывается группой факторов, определение которых по ходу плавки с помощью статистических и теоретико-информационных методов исследований должно позволять решать поставленную задачу управления – выдерживание каждого заданного параметра процесса в нужном диапазоне в течение всего периода плавки при минимальных энерго- и ресурсозатратах.

Специфической особенностью плавки, как объекта управления, является то, что отклонения от нормального хода процесса в любой момент времени могут быть вызваны не только объективными факторами, но и ошибками обслуживающего персонала, осуществляющего субъективный контроль за ходом технологического процесса. Кроме этого, современное состояние плавильного оборудования, используемого в цехах отечественных предприятий, может быть охарактеризовано как «состояние физического и морального износа». Основным путем борьбы за качество литейной и металлургической продукции является модернизация в первую очередь систем управления. Однако на этом пути стоят объективные трудности. В частности, отсутствуют математические модели, позволяющие описывать параметры процессов электроплавки с учетом различных особенностей промышленного производства, а также методология получения моделей для алгоритмов управления электродуговой плавкой. По этой причине управление качеством получаемого сплава в существующих системах управления не закладывается, и ограничиваются, как правило, качественными оценками протекающих в печи процессов. В этой связи представляется актуальной проблема совершенствования процессов и систем управления электроплавкой.

2. Постановка задачи.

Для совершенствования процессов управления плавкой, в первую очередь, необходимо сформулировать задачу управления плавкой как сложным, стохастическим процессом. Постановка задачи управления, при этом, может быть сведена, как и для детерминированных систем, к решению следующих проблем:

- выбору уравнений, описывающих поведение системы во времени
- формированию системы ограничений на управление и фазовую траекторию
- выбору вида минимизируемого функционала
- выбору длительности временного интервала, на которой рассматривается управляемый процесс.

Первые две проблемы рассматривались в работах [1-11]. Ниже приведены результаты исследований, касающиеся третьей и четвертой проблем.

3. Общий принцип конструирования функционала при разработке оптимального управления процессом плавки

Классические представления о выборе функционала из двух альтернативных соображений - о максимизации производительности оборудования или минимизации затрат при его функционировании не приемлемы при разработке систем управления электродуговым процессом. Причина этого заключается в следующем.

Производительность электродуговой печи должна быть согласована с производительностью литейного конвейера. Если потребность в расплаве не обеспечивается, возникают простои и соответствующие убытки из-за нехватки металла. С другой стороны, наличие в печи "лишнего" количества расплава приводит к затратам, связанным с перерасходом электроэнергии (КПД электродуговой печи в период перегрева и доводки не превышает 25%). Таким образом, задача выбора рационального ведения процесса сводится к определению периодов времени работы печи в режиме плавки и термовременной обработки и оптимизации по энергозатратам количества расплава в печи в каждый момент времени с учетом необходимой потребности в расплаве литейного конвейера. Фактически, речь может идти о том, что необходимо найти подход к формированию функционала, который обеспечивал бы и выполнение требований по производительности литейного конвейера, и по снижению энергозатрат на плавку.

Уравнение, описывающее поведение стохастической системы в общем виде включает в себя случайную составляющую возмущений $\sigma(\tau, x(\tau), u) d\xi(\tau)$, вносимых в технологический процесс:

$$dx(\tau) = a(\tau, x(\tau), u) d\tau + \sigma(\tau, x(\tau), u) d\xi(\tau), \tau \geq 0, \quad (1)$$

где $x(\tau)$ – фазовый вектор, u – управление, реализуемые в n -мерном факторном пространстве. Вектор-функция $a(\tau, x(\tau), u)$ и матрица σ считаются заданными.

Решение уравнения (1) для любого $\tau \geq 0$ определяется для начального условия $x(0) = x_0$. При этом x_0 может быть как детерминированным, так и случайным вектором. Время движения исследуемой системы нельзя считать заданным - сама

длительность процесса плавки может рассматриваться как функция, зависящая от фактической потребности в расплаве, энергетических затрат на плавку и степени завершенности металлургических процессов в печи. Поэтому говорить о задаче управления на конечном интервале времени не приходится. Момент времени начала и окончания управления печью зависит от того, когда система достигнет заданного целевого множества, состоящего из характеристик состава, структуры, свойств чугуна, расхода электроэнергии, производительности. Таким образом, исследуемый процесс управления может быть отнесен к процессам, в которых момент окончания движения не задан и является случайной величиной, определяемой конкретной траекторией движения.

При формировании системы ограничений на управление процессом электродуговой плавки можно рассматривать два варианта: ограничения зависят от имеющихся ресурсов или ограничения зависят от полноты информации о процессе. Первый вариант соответствует этапу плавления шихты и система ограничений формируется на основе методов, описанных в разделах 2-3. Вторым вариантом соответствует этапу работы печи в режиме миксера, т.е. этапу, для которого собственно решается задача оптимального управления. Для разработки методов построения оптимального управления плавкой необходимо учесть сочетание обоих типов ограничений. Рассмотрим второй вариант ограничений. Выбирая в качестве фазовых координат садку печи, теоретически может быть получено решение, оптимизирующее управление электродуговой плавкой по времени. Таким образом, реализуется программное управление. Рассмотрим возможность выбора структуры функционала, исходя из принадлежности исследуемой системы к одной из «классических» задач:

- задаче Лагранжа.
- задаче Майера
- задаче Больца

Если исследуемую систему свести к задаче Лагранжа, целевой функционал может быть определен в виде математического ожидания:

$$J(u) = M \left[\int_0^T F_1(\tau, x(\tau), u) d\tau \right] \quad (2)$$

В качестве функции $F_1(\tau, x(\tau), u)$ должна быть выбрана функция, связывающая энергетические показатели работы печи и фактическую производительность печи в заданный момент времени. При этом необходимо учесть, что интервал времени, на котором функционирует система, не задан. Реализация программного управления осуществляется системой управления путем отключения напряжения на печи и подачи команды на исполнительные механизмы, осуществляющие поворот печи и выпуск расплава определенной порции. Исполнительными механизмами являются гидроцилиндры, сигнал подается на электромагниты гидрораспределителя. При таком подходе целесообразно в качестве управления выбрать время выдержки расплава в печи при постоянной заданной температуре. Изменение массы расплава, происходящее за короткий промежуток времени, равный сливу порции расплава, может расцениваться как мгновенное, входное воздействие на систему. При этом выходными параметрами объекта управления (ОУ) являются теплоэнергетические характеристики печи, её эксплуатационные

показатели и качественные характеристики сплава. В любом случае названные показатели – суть динамические характеристики.

Следовательно, выбирая в качестве целевого функционала функционал вида (2), необходимо получить функциональную зависимость $F_1(\tau, x(\tau), u)$ и определить временной интервал функционирования системы.

Если исследуемую систему свести к задаче Майера, целевой функционал может быть представлен в виде:

$$J(u) = M[F(T, x(T))], \quad (3)$$

где $M[F(T, x(T))]$ - математическое ожидание функции $F(T, x(T))$, описывающей фазовый вектор.

При таком выборе функционала необходимо, во-первых, определить оптимальную величину T , во-вторых, - установить, какой вектор целесообразно использовать в контексте поставленной задачи.

Если для функционала (4.2) фазовым вектором является вектор с компонентами – суть энергетическими и эксплуатационными характеристиками, то для функционала (3) в качестве фазового вектора может быть выбран вектор с компонентами, «формирующими» качество сплава. Последними являются концентрации элементов химического состава в чугуне.

Следовательно, выбирая в качестве целевого функционала функционал вида (3), необходимо получить функциональную зависимость $F(T, x(T))$ и определить временной интервал функционирования системы.

Если исследуемую систему свести к задаче Больца, целевой функционал может быть представлен в виде:

$$J(u) = M \left[F(T, x(T)) + \int_0^T F_1(\tau, x(\tau), u) d\tau \right] \quad (4)$$

Функционал вида (4) требует знания функций $F(T, x(T))$ и $F_1(\tau, x(\tau), u)$, а также интервала времени, на котором функционирует система. Минимизация функционала (4) предполагает минимизацию суммарного критерия, учитывающего затраты энергетические, эксплуатационные и затраты от получения некачественной продукции, т.е. брака отливок.

Если первые две составляющие характеризуют «эксплуатационную» эффективность ОУ, то последняя характеризуют «качественную» эффективность процесса плавки. Так как природа исследуемого процесса носит вероятностный характер, необходимо получить количественный критерий, характеризующий вероятность того, что система достигнет заданного целевого множества Ω . Последним может быть химический состав чугуна, оптимальный с точки зрения выбранного критерия – свойств чугуна или его микроструктуры. Методология моделирования и оптимизации таких критериев описана в разделе 2.

При такой постановке соответствующий целевой функционал получается из функционала (4.4) путём подстановки $F_1(\tau, x(\tau), u) = 0$ и $F(T, x(T)) = 1$ при $x(T) \in \Omega$ и $F(x(T)) = 0$ при $x(T) \in R_n \setminus \Omega$ (при условии, что величина T найдена), где Ω – заданное целевое множество из n -мерного евклидова пространства R_n .

Следовательно, в этом случае функционал (4.4) равен вероятности достижения системой (4.1) в конечный момент времени T заданного целевого множества Ω .

Считая, что эффективность процесса плавки оценивается качеством получаемого сплава, а последний является функцией химического состава, можно считать нормальным такое функционирование системы, при котором её координаты принадлежат множеству Ω на всем интервале движения. Поэтому функционал может быть записан в виде:

$$P\{x(T) \in \Omega, 0 \leq \tau \leq T\} \rightarrow \max \quad (5)$$

Применение функционала (5) (впрочем, как и функционалов (2)-(4)) требует предварительного определения момент окончания движения, являющегося, по сути, случайной величиной, зависящей от конкретной траектории.

Обозначив момент времени первого достижения системой (1) целевого множества Ω через $\tau_x(u)$ при управлении u и начальном условии $x(0)=x$, задача сводится к минимизации по u функционала $M \tau_x(u)$, т.е. к задаче стохастического быстроедействия. В этом случае необходима минимизация функционала вида

$$J = M \int_0^{\tau_x} F_1(\tau, x(\tau), u) d\tau \quad (6)$$

Однако, непосредственное применение любого из перечисленных функционалов, не представляется возможным в силу следующих причин:

- отсутствие функций $F(T, x(T))$, $F_1(\tau, x(\tau), u)$;
- отсутствие методики определения оптимальной величины $\tau_x(u)$;
- сложность объединения в одном целевом функционале «эксплуатационной» и «качественной» составляющих ОУ.

Для решения названных проблем необходим дифференцированный подход.

На первом этапе необходимо разработать методологию формирования целевого функционала по «эксплуатационным» критериям.

На втором этапе необходимо выбрать управляющие факторы и получить структуру целевого функционала.

На третьем этапе необходимо разработать методологию расчета оптимального управления - времени выдержки расплава в печи.

Конечным результатом реализации такого подхода является определение оптимальных моментов подачи сигнала на отключение напряжения печи и исполнительные механизмы поворота печи и расчет оптимальной садки в течение интервала $[0, \tau_x]$.

Для конструирования функционала в контексте поставленных задач дуговая печь представлена элементом системы массового обслуживания (СМО), конкретно - в виде многоканального узла обслуживания заявок на расплав, генерируемых литейным конвейером. В этом случае функционал может быть представлен в виде:

$$Z(m(\tau)) = S_1 Q k P(m(\tau)) + S_2 [m(\tau) - (Qk - QkP(m(\tau)))/Q], \quad (7)$$

где $Z(m(\tau))$ – суммарные затраты в момент времени τ , связанные с простоями из-за отсутствия металла (низкого его качества) и наличия в печи “лишнего” металла; S_1 – себестоимость 1 тонны сплава; S_2 – затраты, связанные с выдержкой и пе-

регревом расплава в печи; Q_k – интенсивность потока заявок на расплав, генерируемого конвейером; $P(m(\tau))$ – вероятность простоя конвейера (вероятность того, что формы на конвейере не будут залиты вследствие отсутствия расплава); $mk(n)$ – среднее число занятых каналов, имеющее смысл КПД печи в данный промежуток времени.

При этом оптимальным можно считать управление, минимизирующее функционал вида (7). Управлением является время выдержки расплава в печи в зависимости от потребности в расплаве, генерируемой литейным конвейером. Траектория системы представляет собой технологическую схему процесса плавки.

4. Синтез оптимального управления

Исходные данные для разработки математической модели представлены в таблице 1.

Таблица 1. Исходные данные для разработки математической модели

Количественные характеристики	Значения
Интенсивность потока заявок на расплав, генерируемая литейным конвейером, λ т/смену	$\lambda_{\min}=1$ $\lambda_{\max}=11$
Среднее время обслуживания заявок, соответствующее времени выдержки расплава в печи, $\bar{T} = \mu^{-1}$, мин	$\mu^{-1}_{\min}=5$ $\mu^{-1}_{\max}=45$
Среднее число заявок, генерируемое литейным конвейером, за среднее время обслуживания заявки, $\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \lambda \bar{T}$	$\lambda_{\text{норм}} \mu^{-1}_{\text{норм}},$ $\lambda_{\text{норм}} = \frac{\lambda - 6}{5}$ $\mu^{-1}_{\text{норм}} = \frac{\mu^{-1} - 25}{20}$
Стоимость тонны литья, S_1 , грн.	12000
Стоимость электроэнергии, S_2 , грн/кВт	0,71
Расход электроэнергии на выдержку и перегрев расплава, кВт*ч/т.	105

Инструментом для построения математической модели выбран метод планирования эксперимента с построением центрального ортогонального композиционного плана второго порядка. Входными переменными являются интенсивность потока заявок на расплав, генерируемая литейным конвейером, ($x_1 = \lambda$) и время выдержки расплава в печи ($x_2 = \mu^{-1}$). Выходным параметром – суммарные затраты в технологическом процессе по причине отсутствия металла и выдержке в печи лишнего расплава ($y = Z$).

Особенностью нахождения оптимального управления является то, что в первую очередь определяется оптимальная траектория системы, описывающая такое значение фазовой координаты, при котором минимизируется функционал вида (7), и только после этого рассчитываются оптимальные значения управляющих факторов.

Математическая модель в нормированном виде имеет вид:

$$G^* = 47898 + 1918 \frac{\lambda - 6}{5} + 3,573 \frac{\bar{T} - 25}{20} - 0,675 \left[\left(\frac{\lambda - 6}{5} \right)^2 - 0,6667 \right] - 1,924 \left[\left(\frac{\bar{T} - 25}{20} \right)^2 - 0,6667 \right] + 1,772 \left(\frac{\lambda - 6}{5} \right) \left(\frac{\bar{T} - 25}{20} \right) \quad (8)$$

Статистический анализ точности выполнен в соответствии с t -критерием Стьюдента. Границы доверительного интервала и расположение экспериментальных точек показаны на рис.1.

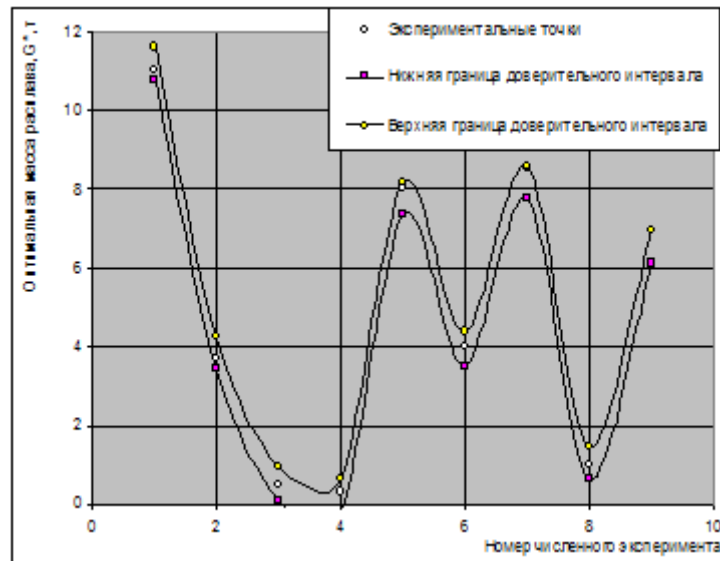


Рис.1. Границы доверительных интервалов и расположение экспериментальных точек

Как видно из рис.1, математическая модель адекватно описывает влияние интенсивности потока заявок на расплав, генерируемого литейным конвейером, и времени выдержки расплава на оптимальную массу расплава. Поверхность отклика, имеет вид, представленный на рис.2

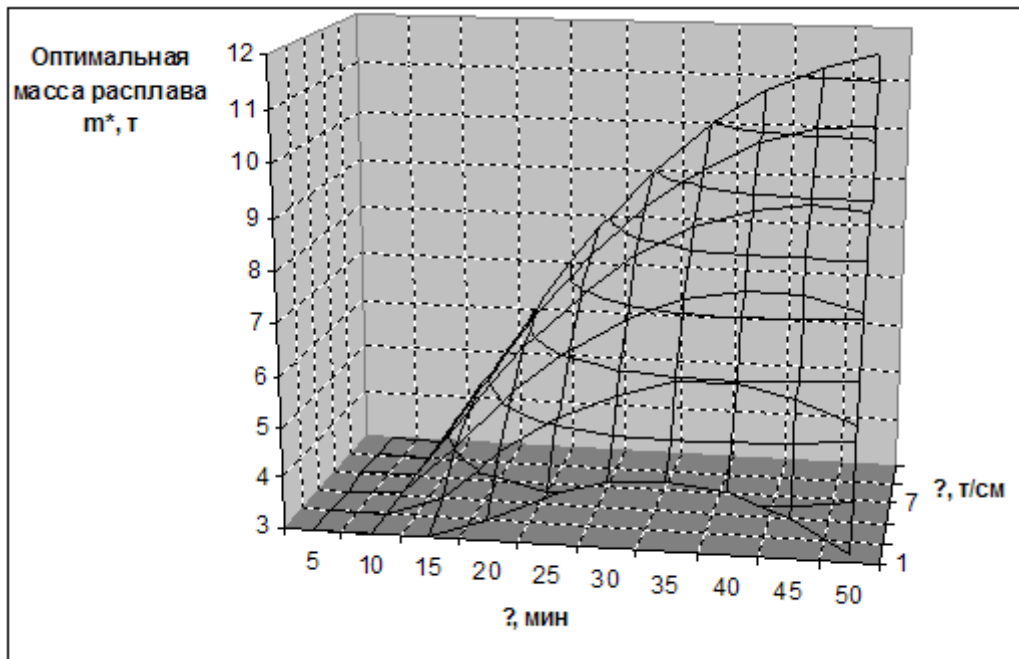


Рис.2. Поверхность отклика, описывающая зависимость $m^* = f(\lambda, \mu^{-1})$

Характер поверхности отклика показывает, что оба входных параметра оказывают существенное влияние на выходной параметр. Учитывая, что выходной параметр представляет собой оптимальное решение в поставленной задаче управления, необходимо проанализировать степень влияния каждого из входных параметров и смысл этих параметров.

Входной параметр λ – фактически это та масса расплава, которая должна выдаваться на литейный конвейер с определенной интенсивностью. Она определяет величину Δm^* , вычитая которую из начальной оптимальной массы через некоторый оптимальный интервал времени, получается новая оптимальная траектория системы. Входной параметр μ^{-1} – это то оптимальное время выдержки расплава, по истечению которого необходимо производить слив очередной порции расплава массой Δm^* .

Анализ поверхности отклика позволяет сделать вывод о том, что в исследованной области входных переменных глобальный оптимум отсутствует. Поставленная задача не предполагает нахождения глобального оптимума. Необходимо найти оптимальную траекторию системы, соответствующую оптимальной технологической схеме электродугового процесса. Для этого необходимо, задаваясь различными значениями интенсивности λ , определять оптимальные значения μ^{-1} , соответствующие оптимальному времени выдержки расплава. Для нахождения оптимального управления может быть применен ридж-анализ. Оптимальные управления определяются из уравнения:

$$X^* = \begin{pmatrix} \frac{-0,959\lambda - 0,2617}{0,8859^2 - (\lambda + 1,9237)(\lambda + 0,6752)} \\ \frac{-1,787\lambda - 0,357}{0,8859^2 - (\lambda + 1,9237)(\lambda + 0,6752)} \end{pmatrix} \quad (9)$$

Решение уравнения существует в 3-х областях определения λ , разделенных полюсами $\lambda = -2,383$ и $\lambda = -0,2157$:

$\lambda \in]-\infty; -2,383[$	для гребневой линии I
$\lambda \in]-2,383; -0,2157[$	для гребневых линий II-III
$\lambda \in]-0,2157; +\infty[$	для гребневой линии IV

Радиус-вектор рассчитывается из уравнения:

$$r^{2*} = \begin{pmatrix} \frac{-0,959\lambda - 0,2617}{0,8859^2 - (\lambda + 1,9237)(\lambda + 0,6752)} \\ \frac{-1,787\lambda - 0,357}{0,8859^2 - (\lambda + 1,9237)(\lambda + 0,6752)} \end{pmatrix}^T \begin{pmatrix} \frac{-0,959\lambda - 0,2617}{0,8859^2 - (\lambda + 1,9237)(\lambda + 0,6752)} \\ \frac{-1,787\lambda - 0,357}{0,8859^2 - (\lambda + 1,9237)(\lambda + 0,6752)} \end{pmatrix} \quad (10)$$

На рис.3 представлена зависимость $r = r(\lambda)$.

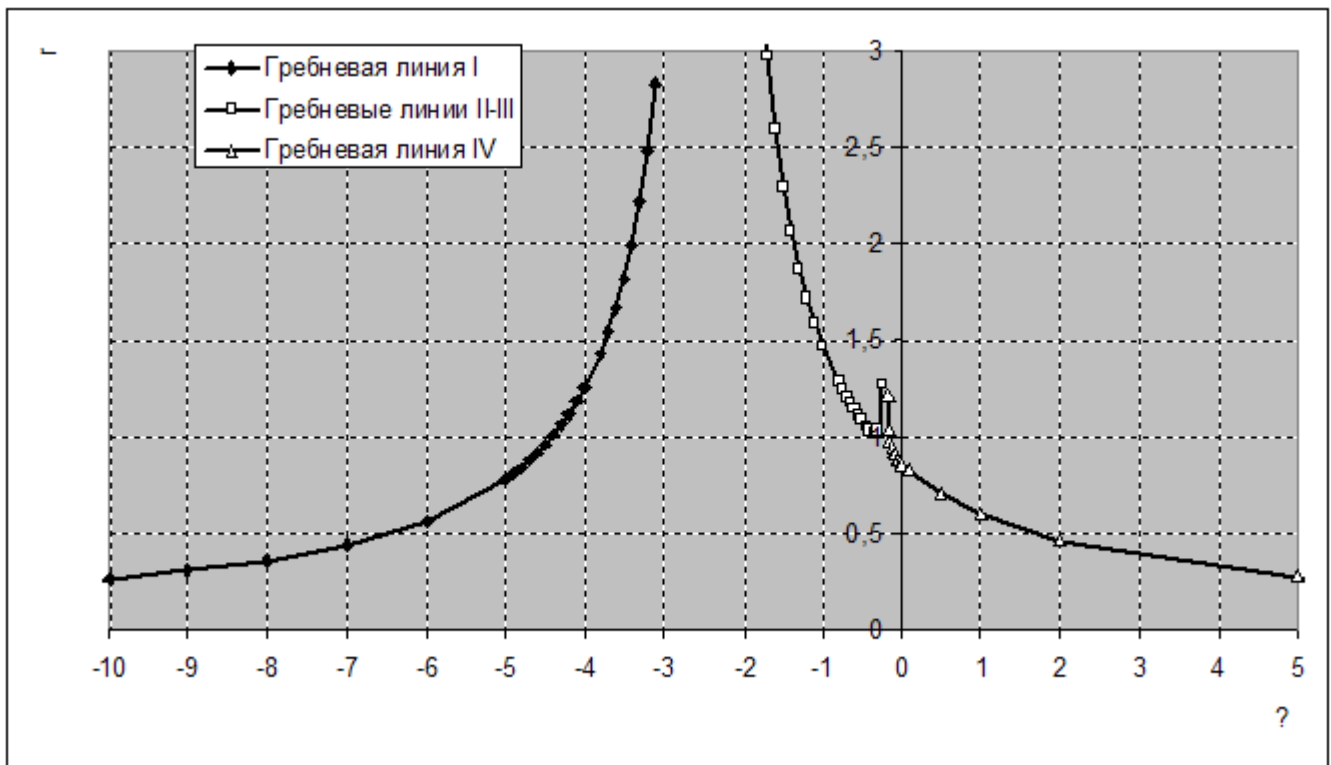


Рис.3. Зависимость $r=r(\lambda)$.

Множество оптимальных решений математической модели описывается векторным уравнением:

$$y^* = a_0 + 2a'X^* + X^{*'}AX^* \quad (11)$$

На рис.4. приведено решение (11) в зависимости от значений λ во всех диапазонах областей определения.

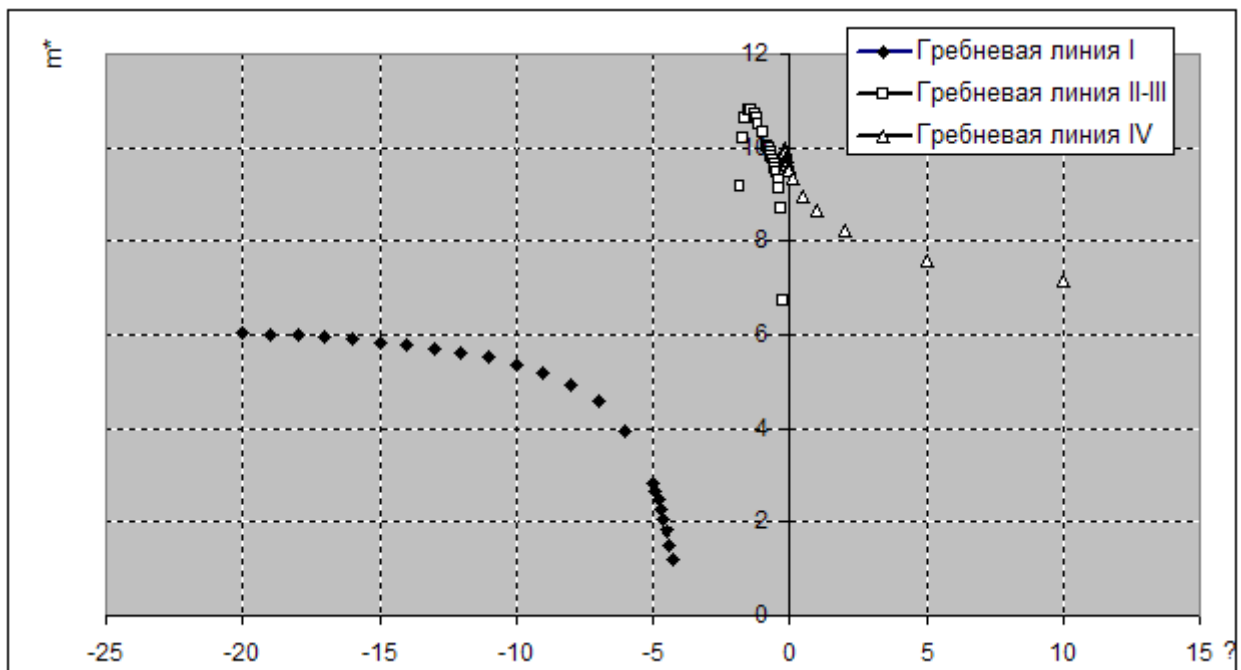


Рис.4. Зависимость $y=y(\lambda)$.

Множество оптимальных решений приведено на рис.5.

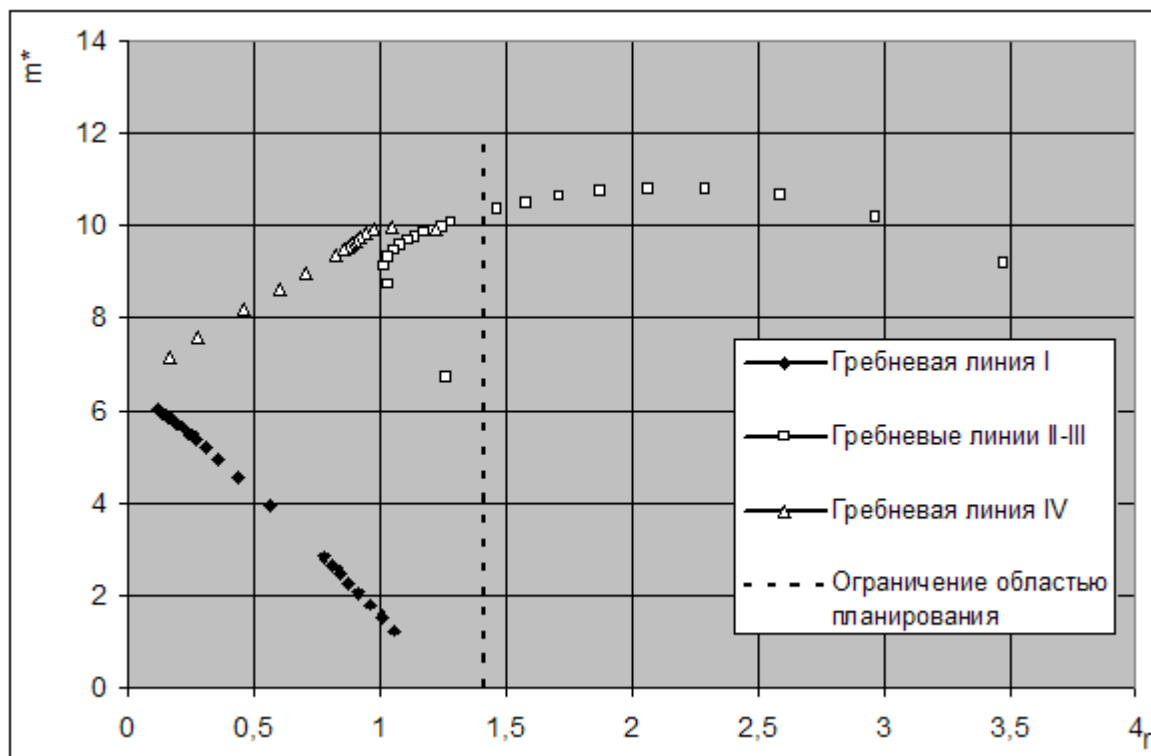


Рис.5. Зависимость $y^*=y^*(\lambda)$.

Оптимальное управление строится по итерационной процедуре следующим образом: по заданной начальной садке рассчитывается оптимальное управление U^* , соответствующее (9), затем определяется минутная интенсивность выдачи расплава, масса расплава, выдаваемого на конвейер и масса расплава, оставшаяся в печи и на этом промежутке времени. Таким образом последовательно формируется оптимальная технологическая схема плавки. Схема является носителем следующей информации: о моментах времени отключения печи на слив, о количестве сливаемого расплава и об интервале времени выдержки расплава определенной массы (оптимальной точки зрения минимизации суммарных затрат на технологический процесс).

Моделируя температурный профиль печи и кинетические уравнения, описывающие фактические изменения содержания элементов химического состава сплава, может быть построено оптимальное управление процессом. Оно включает в себя два этапа.

Этап 1. Расчет оптимальной величины корректирующих присадок, вводимых в печь для максимизации функционала (5). Функционал в этом случае требует выбора такого управления, которое обеспечивает максимум вероятности попадания выбранного показателя качества сплава в заданный диапазон. Такой диапазон может быть регламентирован ГОСТами или получен построением математической модели, связывающей химический состав с данным показателем качества сплава. Управление осуществляется в моменты времени $\tau=T$, соответствующие моментам слива расплава из печи и диктуемым оптимальной технологической схемой плавки.

Этап 2. Расчет оптимальной степени напряжения трансформатора в моменты времени, соответствующие выдержке расплава в печи заданной массы при за-

данной температуре. При этом масса диктуется оптимальной технологической схемой плавки, а температура – требованием максимизации функционала:

$$J = \int_{\tau_i}^{\tau_{i+1}} dt \rightarrow \min, \quad (12).$$

где τ_i – момент времени, соответствующий включению напряжения после слива порции расплава, τ_{i+1} – момент времени, соответствующий отключению напряжения для слива очередной порции расплава. По сути, функционал (12) требует максимальной скорости нагрева расплава до требуемой температуры.

На рис.6 представлен пример построения директивного графика плавки в исследуемой 10-ти тонной печи, рассчитанный на основе разработанных методов определения оптимального управления процессом.

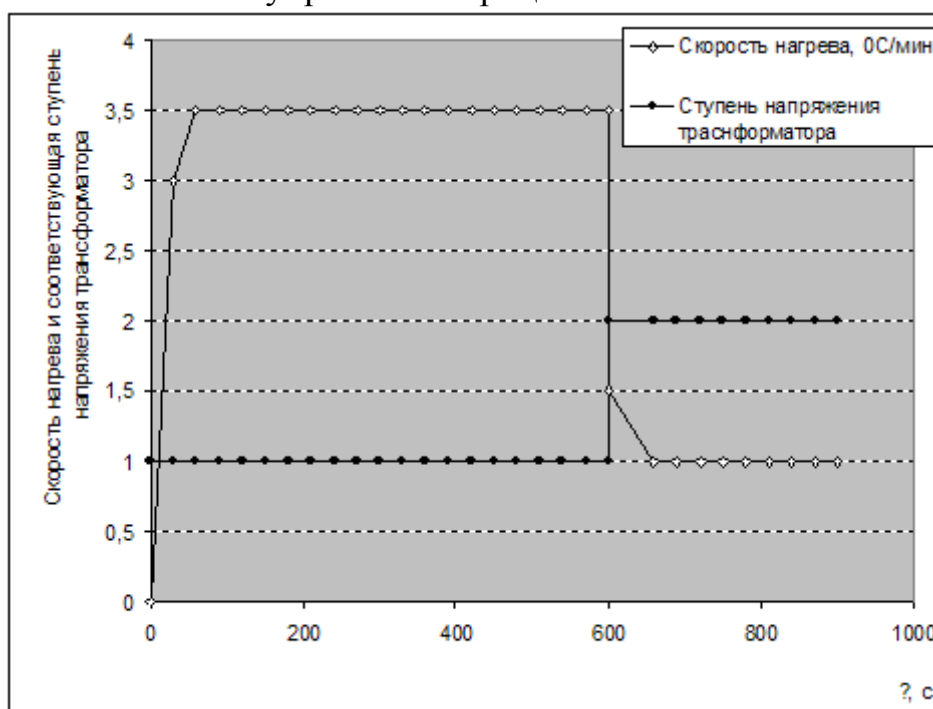


Рис.6. Пример построения оптимального директивного графика плавки.

5. Выводы

1. Формирование структуры функционала при синтезе оптимального управления электроплавкой может осуществляться на основе исследования работы дуговой печи как элемента системы массового обслуживания. Полученный при этом функционал сочетает в себе требования к процессу управления количественного и качественного характера.

2. Для нахождения оптимального управления необходимо построить оптимальную траекторию системы, которая является технологической схемой процесса. Оптимальные управляющие воздействия могут быть получены в результате гребневого анализа поверхности отклика, описывающей функционирование печи как элемента системы массового обслуживания; управляющим воздействием является момент времени переключения ступеней напряжения печи.

3. Разработанная методологии поиска оптимального управления может лечь в основу технической реализации систем управления

Список литературы: 1. Дёмин Д.А. Адаптивный подход к разработке энергосберегающей технологии электродуговой плавки. Вестник Харьковского государственного политехнического университета. Харьков.-2000.-Выпуск №77.-с.24-25. 2. Дёмин Д.А. Методы оценки и оптимизация показателей эффективности технологического процесса плавки. Вестник Харьковского государственного политехнического университета. - Харьков.-2000.-Выпуск №117.-с.42-44. 3. Дёмин Д.А. Статистическое моделирование зависимостей между структурными составляющими чугуна, модифицированного ферросилицием. Вестник Харьковского государственного политехнического университета. Харьков.-2000.-Выпуск №119.-с.36-39. 4. Дёмин Д.А. Выбор области планирования промышленных экспериментов при решении задачи оптимизации свойств легированного чугуна. Вестник Харьковского государственного политехнического университета. Харьков.-2000.-Выпуск №128.-с.121-126. 5. Дёмин Д.А. Статистическое моделирование зависимостей между структурными составляющими и твёрдостью чугуна, модифицированного ферросиликованадием. Процессы литья.-2001.-№2.-с.55-58. 6. Дёмин Д.А., Запороженко Т.В. Энергосберегающая технология получения легированного чугуна. Процессы литья.-2001.-№4.-с.3-5. 7. Дёмин Д.А. Оптимизация режима работы дуговой электропечи при плавке легированного чугуна. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2004. - №6(12).2004. – с. 43-46. 8. Дёмин Д.А., Ефремова Т.В., Чибичик О.А. Моделирование системы массового обслуживания „дуговая печь-литейный конвейер”. Тезисы докладов “Экономический путь к высококачественному литью”. – Киев: Редакция журнала „Процессы литья” при участии МП „Информлитьё”.-2005.- с.38-40. 9. Дёмин Д.А., Божко А.Б., Зрайченко А.В., Некрасов А.Г. Идентификация чугуна для определения рациональных режимов легирования. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2005. - №4/1(22).2006. – с. 29-32. 10. Д.А. Дёмин. Моделирование кинетики химсостава чугуна при плавке в электродуговой печи. Вестник Национального технического университета «ХПИ». - Харьков. - 2005.-Выпуск №27.-с.41-46. 11. Д.А. Дёмин. Управление электродуговой плавкой на основе построения адаптивной модели «химический состав - микроструктура чугуна». Вестник Национального технического университета «ХПИ». - Харьков. - 2007.-Выпуск №30.-с.31-43.

Поступила в редколлегию 18.01.2010