

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАВКИ В ЖИДКОЙ ВАННЕ И СОЗДАНИЕ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Составлено математическое описание печи в программном комплексе моделирования процессов в реакторах ReactOp. Получена модель объекта управления, на основе которого разработана модель процесса плавки в жидкой ванне и устройство управления им в пакете MatLab с использованием инструмента визуального моделирования Simulink. Исследование позволяет получить представление о параметрах процесса, изменении переменных состояния печи относительно номинальных значений при изменении подачи кислорода, о влиянии колебаний температуры на количество шлака, штейна и газов.

Разработка системы управления на основе проделанной работы позволит создать систему, обеспечивающую более стабильное и экономичное протекание процессов в печи, и повысить качество получаемого продукта.

Mathematical description of the furnace in the complex modeling software in ReactOp reactors is done. Control model on the basis of which model the melting liquid bath and device management package Matlab using visual modeling tool Simulink is presented.

Simulation results provide for the parameters of the process, change the variables of furnace about changing the nominal values of oxygen, and as a consequence changes in temperature are analysed. Data on the effects of temperature on the amount of slag, stain and gas are presented.

Control system based on the work done to create a system that would ensure a more stable and efficient flow processes in a furnace and improve the quality of the product.

Основной трудностью при создании математической модели процесса плавки в жидкой ванне, известной как плавка в печи Ванюкова, является статичность объекта, его запаздывающая реакция на возмущающие и управляющие воздействия. Поэтому мы рассмотрели вариант, который позволяет учитывать реальные параметры действующего объекта. За основу была взята печь производительностью 550000 т брикетов в год или 1617 т в сутки, что составляет удельную производительность 80 т/(м²·сут). Для таких печей известны реальные данные по шихтовке, производительности по штейну, шлаку и газам (см. таблицу). За основу были взяты данные материального и теплового балансов печи.

После выполнения всех предварительных расчетов, получения необходимых и достаточных данных для моделирования процесса плавки мы можем построить модель. Для моделирования процесса был вы-

бран программный комплекс ReactOp (Reactor Optimization) – инструмент для оценки кинетики и оптимизации химических реакторов.

С учетом теоретических и практических данных по процессу плавки в жидкой ванне, учитывая активное барботирование и тепловыделение, нами была выбрана модель непрерывного реактора идеального перемешивания с выделением тепла и заданной температурой.

После описания модели средствами ReactOp нами было принято решение провести моделирование процесса в двух вариантах:

1) печь считаем пустой и начинаем процесс загрузки шихты (при заполнении шихты получаем переходные характеристики отдельно по штейну, шлаку и газам (рис. 1);

2) параметры варианта 1 используем как начальные значения, так их можно считать переменными состояниями при устано-

Разделение продуктов плавки по шлаку и штейну

Компонент	Масса, г/моль	Содержание, % по массе		Сумма	Доля по массе	
		в шлаке	в штейне		в шлаке	в штейне
Ni ₃ S ₂	240,22	0,13	11,88	12,01	0,0108	0,9891
NiO	74,7	0,12		0,12	1	0
Cu ₂ S	159,092	0,25	5,12	5,37	0,0465	0,9534
CoO	74,93	0,11	0,27	0,38	0,2894	0,7105
FeS	87,847	4,94	2,96	7,9	0,6253	0,3746
FeO	71,847	27,76		27,76	1	0
Fe ₃ O ₄	231,541	7,55	0,32	7,87	0,9593	0,0406
SiO ₂	60,086	29,99		29,99	1	0
CaO	56	7,01	0,16	7,17	0,9779	0,0220
MgO	46	4,390	0,1	4,49	0,9779	0,0220
Al ₂ O ₃	102	12,06	0,27	12,33	0,9779	0,0220

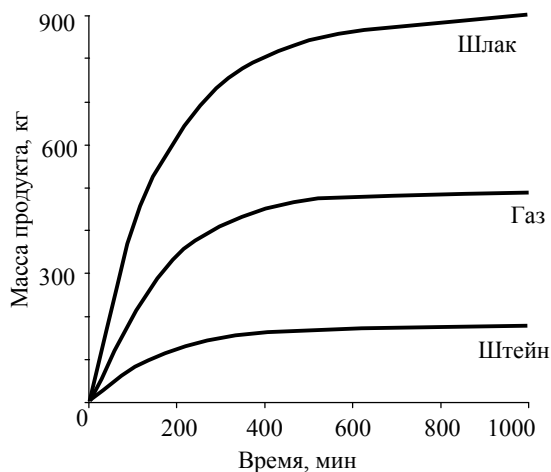


Рис.1. Переходные характеристики при заполнении печи

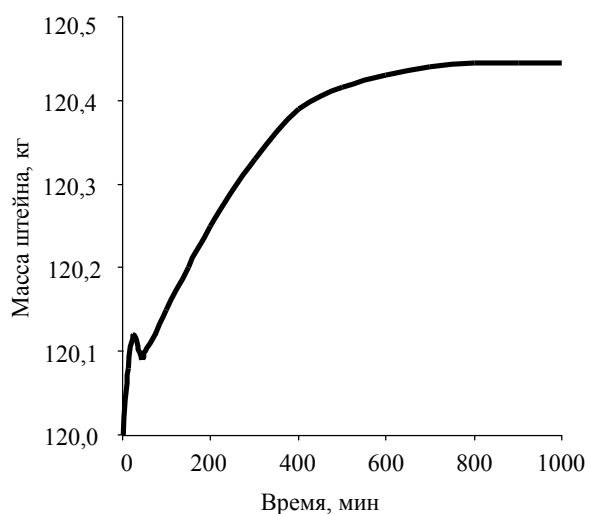


Рис.2. Переходная характеристика по штейну при повышении температуры

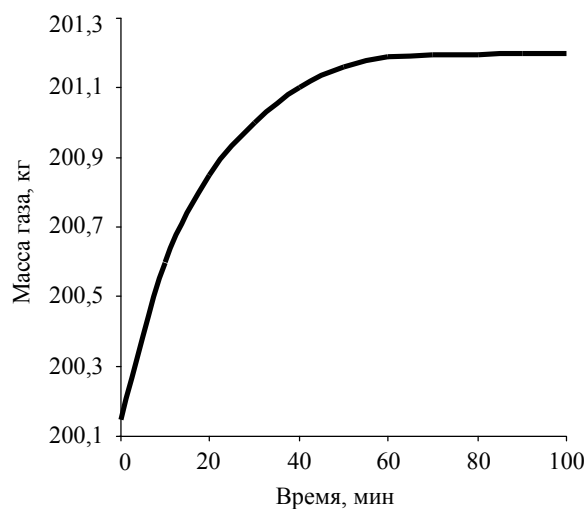


Рис.3. Переходная характеристика по SO₂

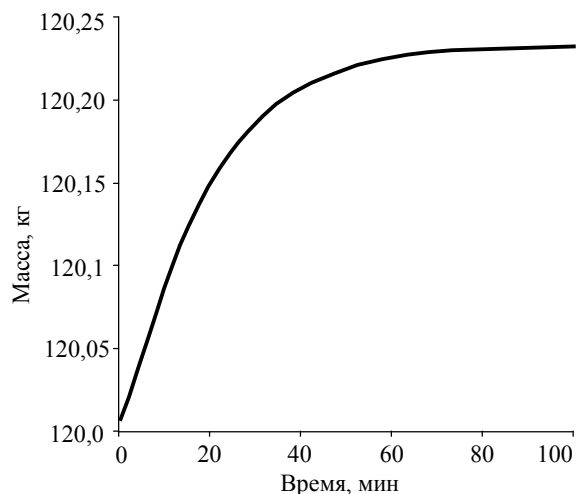


Рис.4. Переходная характеристика по штейну

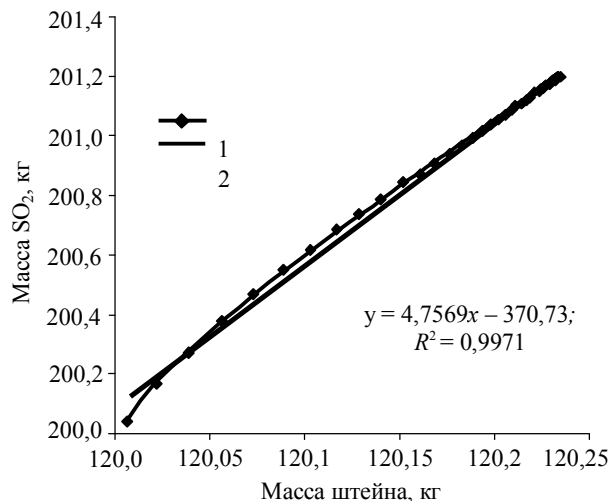


Рис.5. Нахождение коррелирующей функции (1) и приведение ее к линейному виду (2)

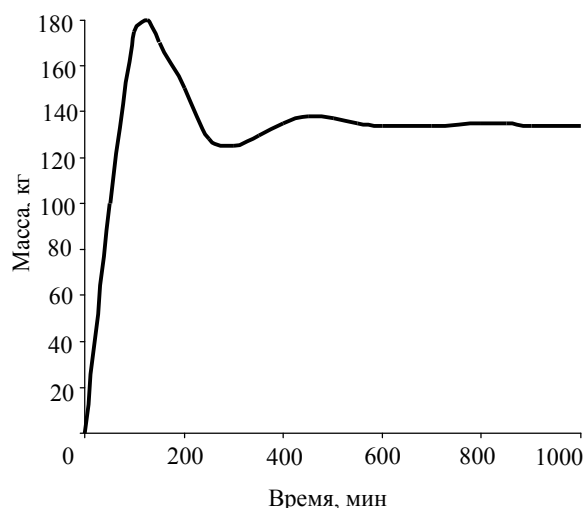


Рис.6. Переходная характеристика по каналу O₂ – SO₂

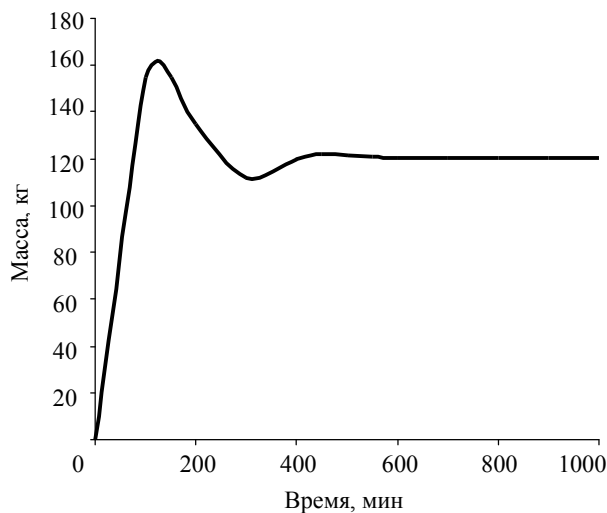


Рис.7. Переходная характеристика по каналу O₂ – штейн

вившемся режиме, когда печь работает стабильно и на выходе при постоянной загрузке имеем постоянную концентрацию. Затем увеличиваем температуру на 150 К, т.е. 10 % от исходной типичной температуры плавки 1500 К (рис.2).

Целью плавки является получение штейна. Поэтому была поставлена задача поддерживать выход штейна на заданном уровне. Но одного этого недостаточно с точки зрения экологии из-за неравномерной концентрации SO₂ в отходящих газах. Неравномерность влечет за собой невозможность переработки газов на серную кислоту, так как при концентрации диоксида серы менее 2,5 % газы направляются

в окружающее пространство, ухудшая экологическую обстановку. И лишь при концентрации выше 2,5 % газы могут быть переработаны. Поэтому нами было принято решение создать модель печи, в которой поддерживается постоянная концентрация диоксида серы в отходящих газах с коррекцией по выходу штейна как основного параметра. Для этого были получены переходные характеристики объекта по каналам O₂ – SO₂ и O₂-штейн и в комплексе ReactOp было задано отклонение на 10 % по расходу кислорода на входе в аппарат. Графики переходных процессов (рис.3 и 4) затем были перенесены в Excel и MatLab.

С помощью MatLab были получены передаточные функции по каналам $O_2 - SO_2$ и $O_2 -$ штейн соответственно

$$N(p) = \frac{0,2421}{152,9153p + 1};$$

$$N(p) = \frac{0,2184}{152,9192p + 1}.$$

Для расчета соотношения выхода штейна и газов данные переходные характеристики были аппроксимированы и скоррелированы (рис.5), что позволяет вносить корректирующее воздействие на регулятор подачи кислорода в печь. Затем была построена модель системы управления в MatLab. С помощью средств MatLab были подобраны параметры регуляторов, с тем, чтобы время регулирования не превышало среднего времени пребы-

вания и перерегулирование составляло около 25 %. Регулятор по каналу $O_2 - SO_2$

$$N(p) = 7,8697 + \frac{p}{0,0070};$$

регулятор по каналу O_2 -штейн

$$N(p) = 0,0479 + \frac{p}{0,1868}.$$

Графики, полученные по результатам моделирования (рис.6 и 7), показывают, что система управления печью по изменению подачи кислорода в печь с коррекцией по содержанию SO_2 в газах по выходу штейна работает адекватно и обеспечивает стабильное протекание процесса как по выходу штейна, как целевого продукта, так и по стабильному содержанию SO_2 в отходящих газах.