

17 Izco J. Types of rarity of plant communities // Journal of Vegetation Science, 1998. № 9/ – P. 641–646.

18 Rabinowitz D., Cairms S. & Dillon T. Seven forms of rarity and their frequencies in the flora of the British Isles // Soule M.E.(ed.) Conservation biology. The science of scarcity and diversity. Sinauer, Sunderland: MS, 1986. – P. 182–204.

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ПЛАВКИ МИНЕРАЛЬНЫХ ШИХТ  
В РЕАКТОРЕ С ПОГРУЖНЫМ В РАСПЛАВ ФАКЕЛОМ**

*DEVELOPMENT OF CONTROL SYSTEM OF TECHNOLOGICAL PROCESS MELTING  
MINERAL CHARGE IN A REACTOR WITH A SUBMERSIBLE TO THE MELT TORCH*

**Жирнова О.В., Толеужанова А.А., Исахан К.**

*Казахский национальный технический университет им. К.И. Сатпаева,  
г. Алматы, Республика Казахстан, e-mail: oxana\_fedoseyeva@mail.ru*

Современные промышленные технологии основываются на применении органического и ядерного топлива. Широкое внедрение в теплотехнологии высокотемпературных процессов ставит в настоящее время ряд энергетических и экологических задач. Поэтому такое большое внимание уделяется высокотемпературным теплотехнологическим процессам и установкам. Неуклонное повышение производительности труда, агрегатов, интенсификация технологических процессов цветной металлургии – всё это усложняет задачи управления производительных процессов на различных уровнях. В этих условиях резко возрастает актуальность эффективного управления производственными процессами. В связи с этим проблемы автоматического контроля и управления технологических процессов чрезвычайно актуальны. Решающими условиями повышения эффективности производства на действующих предприятиях являются: расширение фундаментальных научных исследований, всемерное сокращение сроков создания и освоение новой техники и технологии, реконструкция предприятий, использование перевооружения всех отраслей на основе современной, высокопроизводительной техники. Для решения этих задач наиболее быстро следует внедрять те достижения науки, которые дают не только значительный экономический эффект в наиболее сжатые сроки за счет усовершенствования существующих технологических схем, повышая их производительность, но и качественно видоизменяя существующие технологические схемы, обеспечивают наибольшую эффективность.

В данной статье рассмотрены разрабатываемая система автоматизации с применением средств вычислительной техники для процесса плавки минеральных шихт (медных сульфидных концентратов) в теплотехнологическом реакторе с погружным в расплав факелом и алгоритм ее функционирования. Внедрение системы автоматизации позволит повысить эффективность автоматизируемого производства, определяемым повышением качества и надежности управления, снижением потерь, повышением производительности. Как объект управления, плавка минеральных шихт представляет собой непрерывный процесс, характеризующийся значительной инерционностью, большим количеством входных и выходных переменных, их коррелированностью и трудностью их непрерывного измерения, влиянием возмущающих воздействий, наличием транспортных запаздываний. В рамках теплотехнологического реактора можно выделить следующие основные технологические процессы: загрузка шихты и угля, подача кислородно-воздушной смеси и топлива, охлаждение печи, транспортировка отходящих газов, утилизация газов КУ, деаэрирование воды. [1, 7] Анализ технологического процесса плавки как объекта управления показывает, что он характеризуется следующими особенностями:

1) непрерывность основных технологических операций (непрерывная подача шихты, дутья, непрерывность основных преобразований (нагревание, плавление, окисление, восстановление материалов, массо- и теплообмен), непрерывный выпуск расплава и непрерывный отсос отходящих газов);

2) многомерность технологического процесса, характеризующегося большим количеством входных и выходных переменных;

3) нестационарность параметров процесса, обусловленная изменением состава и качества шихты, изменением соотношения шихта – дутьё, недостаточным усреднением шихты, старением агрегатов;

4) стохастический характер возмущающих воздействий на процесс в виде отклонения химического состава сырья от средних значений и случайных возмущений на процесс;

5) временное запаздывание между выходом и входом процесса, обусловленное значительной инерционностью и запаздыванием объектов, величина которого различна для отдельных каналов объекта;

6) неполнота информации о составе и свойствах сырья и вырабатываемой продукции, обусловленная характером контроля химического состава шихты, штейна, отвальных шлаков, значительной погрешностью контроля в связи с неоднородностью масс, погрешностью анализов, обусловленных затратами времени на транспортировку, подготовку и анализ проб.

Процесс плавки как объект управления схематически изображен на рисунке 1.

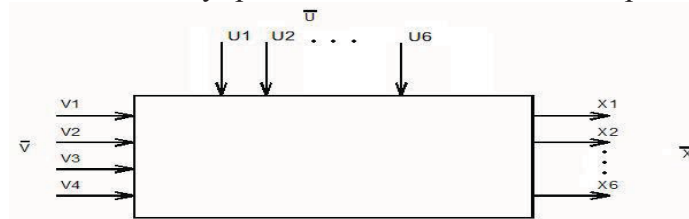


Рис. 1. Процесс плавки как объект управления

На схематическом изображении объекта управления обозначены: вектор входных управляющих воздействий  $\bar{U}$ ; вектор входных возмущающих воздействий  $\bar{V}$ ; вектор выходных переменных  $\bar{X}$ . Вектор  $\bar{V}$  ( $\bar{V}_1, \bar{V}_2, \bar{V}_3, \bar{V}_4$ ) имеет следующие компоненты:  $\bar{V}_1$  – содержание серы в шихте (%);  $\bar{V}_2$  – содержание меди в шихте (%);  $\bar{V}_3$  – содержание соединений железа в шихте (%);  $\bar{V}_4$  – количество проплавляемой шихты (т). Вектор  $\bar{U}$  ( $\bar{U}_1, \bar{U}_2, \bar{U}_3, \bar{U}_4, \bar{U}_5, \bar{U}_6$ ) имеет следующие компоненты:  $\bar{U}_1$  – скорость загрузки концентрата;  $\bar{U}_2 = \bar{U}_6 / \bar{U}_1$  – соотношение «дутьё-загрузка»;  $\bar{U}_3$  – обогащение дутья кислородом;  $\bar{U}_4$  – влажность концентрата;  $\bar{U}_5$  – разность температур воды на входе и выходе;  $\bar{U}_6$  – расход дутья. Вектор  $\bar{X}$  ( $\bar{X}_1, \bar{X}_2, \bar{X}_3, \bar{X}_4, \bar{X}_5, \bar{X}_6$ ) имеет следующие компоненты:  $\bar{X}_1$  – содержание меди в отвальном шлаке (%);  $\bar{X}_2$  – содержание меди в штейне (т);  $\bar{X}_3$  – количество получаемого штейна (т);  $\bar{X}_4$  – количество выдаваемого шлака (т);  $\bar{X}_5$  – количество серы в отходящих газах (%);  $\bar{X}_6$  – температура процесса (С). Таким образом, процесс плавки минеральных шихт в теплотехнологическом реакторе относится к многомерным, многосвязанным объектам управления со многими входными и выходными переменными. Основной задачей оптимизации является расчет такого режима ведения процесса, который доставлял бы выбранной функции цели экстремальное значение (минимум или максимум). При этом необходимо обеспечить соблюдение некоторых технологических ограничений, которые позволяют вести процесс в устойчивом и безаварийном режиме. Разработка математической модели процес-

са плавки минеральных шихт в теплотехнологическом реакторе позволит рассчитать потери меди с отвальным шлаком в зависимости от производительности, химических и физических свойств исходной шихты, расхода дутья, содержания в нем кислорода, поддержания манометрического режима. Поэтому содержательная постановка задачи оптимизации может быть сформулирована следующим образом: «Для заданного состава шихты рассчитать такие значения расхода дутья, содержания в нем кислорода и расхода шихты, которые обеспечили бы минимальные потери меди с отвальным шлаком, при соблюдении технологических ограничений на: расход шихты, температуру в печи, расход дутья, содержание кислорода в дутье». Задачей управления теплотехнологическим реактором также является поддержание заданной температуры расплава [1, 29]. Определение температуры расплава является сложной инженерной задачей, так как среда измерения крайне агрессивна. Подходящих датчиков измерения нет. Измерение с помощью пирометров затруднено из-за задымленности поверхности расплава. Поэтому предлагается метод косвенного измерения температуры расплава с использованием нейронных сетей. Будучи новым направлением в моделировании, нейронные сети наиболее подходят для этой цели. Необходимо разработать алгоритм обучения нейронной сети. Для этого предполагается создать обучающую ячейку для определения коэффициентов нейронной сети. Потери меди с отвальным шлаком определяются количеством штейновых капель, не успевших скоалесцировать, вместе со шлаком – поток  $\Phi_{шт}^{(2)}$ . Постановка задачи оптимального управления в таком виде позволит, во-первых, управлять процессом оптимальным образом (минимизацией содержания меди в отвальном шлаке), во-вторых, вести процесс в устойчивом и безаварийном режиме (посредством соблюдения технологических ограничений).

Наличие математической модели, выбранного метода поиска и заводских требований соблюдения технологических ограничений позволяют сформулировать математическую постановку задачи оптимизации в виде:

$$F_{ц} = \Phi_{шт}^{(2)} \rightarrow \min. \quad (1)$$

При этом поток  $\Phi_{шт}^{(2)}$  определяется с помощью математической модели для заданных химических и физических свойств шихты. Необходимо преобразовать функцию цели (1) и ограничения к виду:  $F_{ц}^* = F_{ц} + F_{штраф}$ , где  $F_{ц}^*$  – новая (преобразованная функция цели,  $F_{штраф}$  – так называемая функция штрафа, величина которой зависит от нарушения технологических ограничений.

При этом штраф накладывается только в случае нарушения верхнего или нижнего ограничения, а его величина может быть рассчитана следующим образом:

$$F_{штраф} = \sum_{i=1}^3 (x_i - x_i'') + (x_i' - x_i). \quad (2)$$

Таким образом, при нарушении ограничений функция штрафа будет возрастать тем больше, чем больше нарушено какое-либо ограничение. При необходимости можно выставить «веса» за нарушения какого-либо ограничения, в зависимости от его важности. Тогда функция штрафа будет выглядеть следующим образом:

$$F_{штраф} = \sum_{i=1}^3 \alpha_i (x_i - x_i'') + \alpha_i (x_i' - x_i). \quad (3)$$

Для реализации идеи оптимального управления предлагается структура системы управления процессом, включающей имеющиеся системы автоматической стабилизации входных (где  $\alpha_i$  – «вес»  $i$ -й переменной, обозначающей «цену» штрафа за нарушение ограничений на эту переменную подсистема стабилизации входных переменных) и выходных переменных с обратными связями (подсистема стабилизации манометрического режима) с добавлением к ним подсистем оптимального управления и интеллектуальной подсистемы. Таким образом, содержательная и математическая постановки

задачи оптимального управления позволяют разработать алгоритм оптимального управления и соответствующее программное обеспечение. [2, 65].

В настоящее время выбор структуры нейронной сети является сложной задачей, поэтому в данной работе предлагается выбрать следующую структуру нейронной сети (Рис. 2).

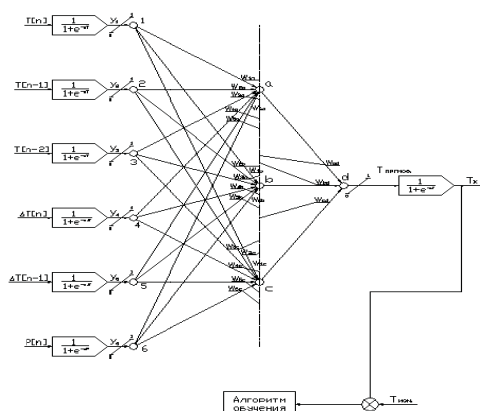


Рис. 2. Структура нейронной сети

Обобщенная функциональная схема управления приведена на Рис. 3. Она включает в себя первичную фильтрацию данных – результаты измерения довольно сильно зашумлены. Затем настройку нейросетевой модели с возможностью донастройки ее в процессе работы. После этого нейросетевую модель можно использовать для управления на основе прогнозирования.

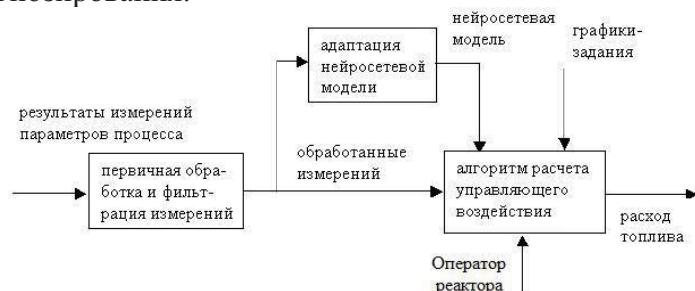


Рис. 3. Функциональная схема управления реактором

Снятие экспериментальных данных производилось с помощью SimaticS7-300. Температуру расплава измеряли с помощью термометра сопротивления, помещенного в защитный чехол, сделанный из ниобия (Nb, температура плавления 2477°C, температура кипения около 4760°C). Эксперимент проводился в течение нескольких дней, безостановочно. В результате были получены значения входных управляющих переменных и температуры расплава, которые впоследствии использованы для разработки алгоритма обучения на выборке экспериментальных данных.

Внедрение системы автоматизации теплотехнологического реактора, рассмотренной в данном проекте, позволяет расширить области исследования оптимальной эксплуатации вышеуказанного объекта, с внедрением современной микропроцессорной техники управления процессами, поднять на высокий уровень культуру обслуживания и дает возможность для дальнейшего совершенствования и оптимизации процесса плавки минеральных шихт в теплотехнологическом реакторе.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Несенчук А.П., Высокотемпературные теплотехнологические процессы и установки. Учебное пособие для вузов. – Минск: Вышэйша школа, 1988.
- 2 Бояринов А.Н., Кафаров В.В. Методы оптимизации в химической технологии. – М.: «Химия», 1975.