

*И. А. Усков, Е. Л. Швыдкий, К. Ю. Бодрова*  
**ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Прези-  
дента**  
**России Б.Н.Ельцина» (г. Екатеринбург, Россия)**

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ЖИДКОФАЗНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ**

В настоящее время автоматизация в целом рассматривается как путь к эффективной работе устройства и повышения его быстродействия, что сказывается положительно на весь технологический процесс. Так и при использовании многофункционального плавильного агрегата (МПА) [1] можно добиться высокоэффективного, а, следовательно, и экономичного технологического процесса, применяя управление через разработанный регулятор. Реализации которого предполагает управление процессом восстановления металлов.

На сегодняшний день в промышленности активно используются системы управления фирмы ABP Induction Systems [2]. Такие системы включают в себя несколько программ: автоматизации плавки, спекания, ввода печи в эксплуатацию после перерыва в работе, режима выдержки металла в печи при постоянстве его температуры. В то же время в процессе работы контролируется: количество металла в печи, электрические параметры режима работы, температура воды в каждой цепи водоохлаждения, состояние футеровки печи.

Подобные системы, к сожалению, пока не могут быть применены в отношении регулирования процесса жидкофазного восстановления в МПА. В данной статье рассматривается система управления процессом жидкофазного восстановления стали в МПА с помощью разработанного регулятора, в основе которого аperiodическое звено 1 порядка.

### **ТЕПЛОВАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ЖИДКОФАЗНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ В МПА**

Тепловая модель жидкофазного восстановления в МПА основана на 9 нелинейных дифференциальных уравнениях с членами вида (1), сформированных с помощью метода тепловых детализированных схем [3]. Решение тепловой модели реализовано в лицензионной программе MATLAB-SIMULINK [4,5].

$$C_i \cdot m_i \cdot \frac{dt_i}{d\tau} = -(G_i + G_{i+1}) \cdot t_i + G_i \cdot t_{i-1} + G_{i+1} \cdot t_{i+1} + P \quad (1)$$

где  $C_i$  – теплоемкость материала, зависящая от температуры (Дж/К),  $m_i$  – масса материала (кг),  $t_i$  – температура узла ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $G_i$  – тепловая проводимость, ( $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{K}$ ),  $P$  – мощность тепловыделения в узле (Вт).

Моделирование тепловой задачи начинается с этапа, когда в тигле присутствует расплав, включен боковой электромагнитный вращатель и раскручена металлическая подложка и сформирована лунка, засыпан реагент, на поверхности образовался слой шлака.

С целью получения начальных температур в ключевых точках, был выполнен расчет температурного поля в осесимметричной постановке с помощью лицензионной программы ELCUT 4.2. Поблочное изображение модели печи представлено на рис.1.

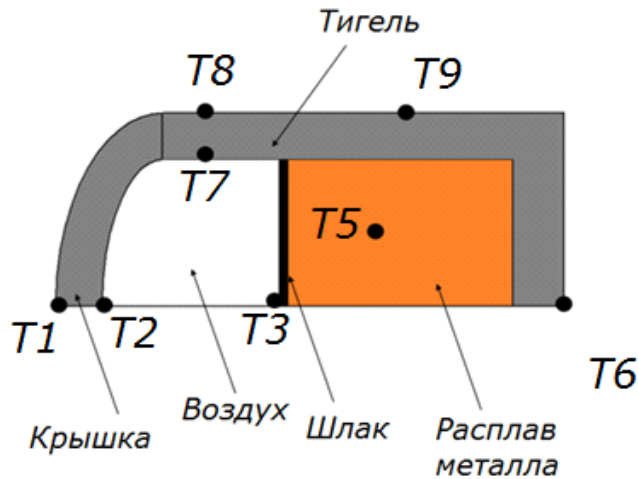


Рис.1 Поблочное изображение модели печи

Результат расчета — это картина распределения температурного поля (рис.2) и температура в узлах (таблица 2).

Таблица 2

№	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
Показания температуры, К	323	338	1373	298	1773	405	421	327	490

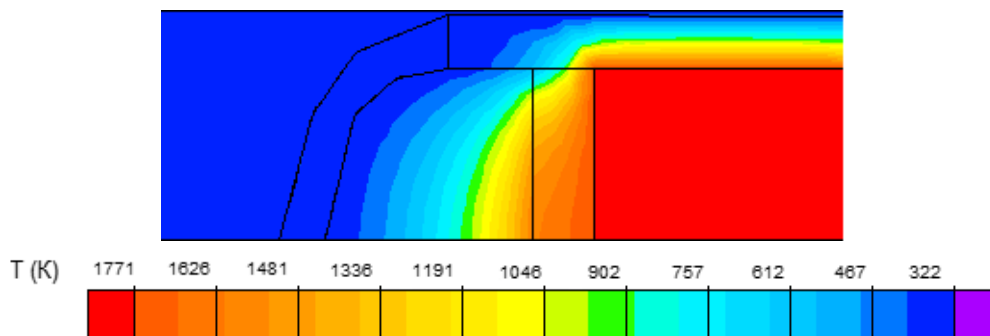


Рис.2 Распределение температур

### ОПИСАНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ

В данной системе МПА представляет собой объект управления, регулируемой величиной которого является температура, а регулирующим воздействием – скорость подачи металла. В качестве задания на вход системы регулирования подается  $T_{\text{задания}}=2273 \text{ К}$ , выбор такой температуры связан с опасностью повреждения огнеупорной футеровки агрегата. Для формирования задания на регулятор  $T_{\text{задания}}$  сравнивается с вычисленной температурой расплава  $T_{\text{расплава}}$ . На выходе регуляторы мы получаем требуемую скорость подачи реагента. Система управление процессом жидкофазного восстановления (рис.3.) выполнена с применением регулятора, в основе которого лежит апериодическое звено 1 порядка. Проведен анализ на определение устойчивости, по корневому критерию. Необходимое условие устойчивости выполняется.

Результат работы системы - графики изменения температур реагента, шлака, подложки, изображенные на рис.4. Время процесса составляет 50 сек, что равно времени восстановления одной порции металла.

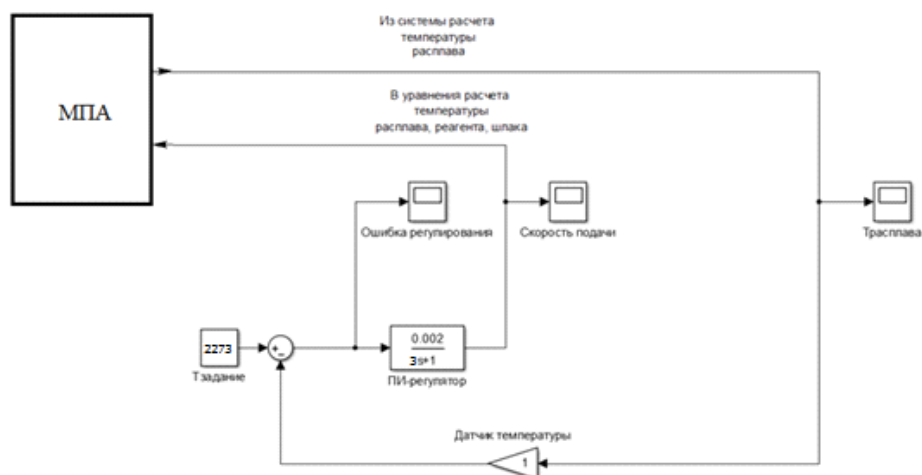


Рис.3. Система регулирования температуры расплава

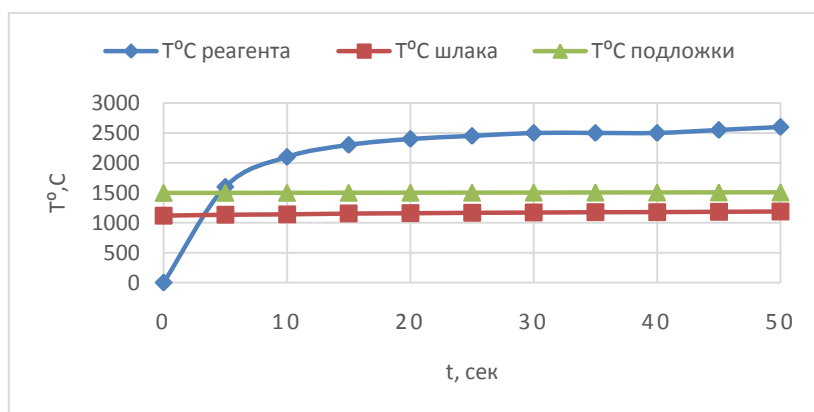


Рис 4. Графики температур

Синтезированный нами регулятор обеспечивает устойчивое регулирование температуры процесса восстановления. В дальнейшем планируется сравнение результатов моделирования с работой реального регулятора.

#### Список используемых источников

1. Швыдкий Е.Л. Многофункциональный плавильный агрегат с электромагнитным вращателем на основе индукционной тигельной печи / Усков И.А., Болотин К.Е., Сапарулов С.Ф., Задирака Г.Н.// Промышленная энергетика – 2015.-№7, с 17-20.
2. ABP Induction Systems [Офици. сайт] URL:www.abpinduction.com (дата обращения: 26.02.2016).
3. Фаткуллин С. М. Формирование энергоэффективных режимов работы многофункционального плавильного агрегата на основе индукционной тигельной печи : дисс. ... канд. техн.наук : 05.09.03 / С. М. Фаткуллин ; ФГАОУ ВПО "УрФУ имени первого президента России Б.Н. Ельцина" . – Екатеринбург, 2011 . – 217 с.
4. Лузгин В.И. Методика моделирования установок индукционного нагрева в SIMULINK / В.И. Лузгин, А.Ю. Петров, И.В. Черных // Тез. докладов II научно-техн. конф. "Проектирование научных и инженерных приложений в среде Matlab", Москва, 2004. С. 15-17.
5. Лузгин В.И. Методика ускоренного моделирования установок нагрева в среде Matlab / В.И. Лузгин, А.Ю. Петров, И.В. Черных // VIII Симпозиум "Электротехника 2010" Перспективные виды электротехнического оборудования для передачи и распределения энергии. Сборник тезисов: Москва, 2005. С. 94-101.