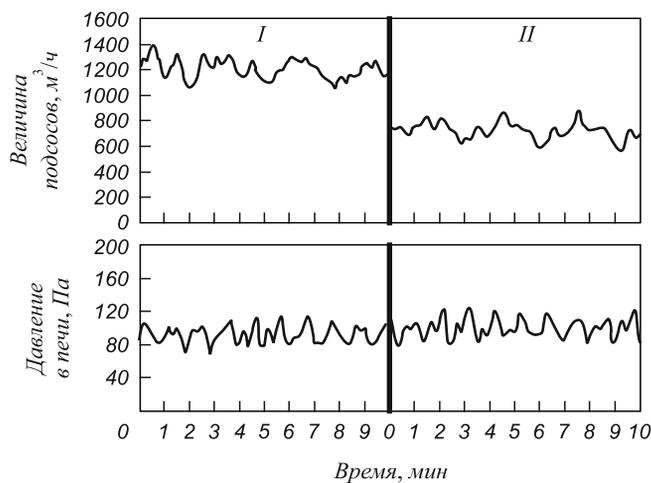


основанная, в отличие от классической, на поддержании величины подсосов на минимальном уровне. В этом случае контур регулирования целесообразно построить на газоанализаторе кислорода (в качестве сигнала обратной связи) и частотном приводе эжекционного вентилятора, установленного в дымоходном тракте печи (в качестве исполнительного механизма). Рассматриваемый способ управления был опробован на практике и показал удовлетворительные результаты не только по содержанию кислорода и величине подсосов, но и по стабильности внутривспечного давления (см. рисунок).

Таким образом, предложен оптимальный способ регулирования давления в печи при помощи газоанализатора кислорода в отходящих дымовых газах.

© 2012 г. В.Г. Лисиенко, Ю.К. Маликов,  
А.А. Титаев  
Поступила 13 июня 2012 г.



Сравнение способов управления газодинамическим режимом работы печи:

I – регулирование по датчику давления, II – регулирование по содержанию кислорода в дымовых газах

УДК 66.040.3:62-503.5

**С.Н. Старовацкая, Л.П. Мышляев**

Сибирский государственный индустриальный университет

## УПРАВЛЕНИЕ ТРАЕКТОРИЕЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ\*

Неопределенность в описании всех компонентов объектов управления является преобладающим фактором эффективности вырабатываемых управляющих воздействий. Один из перспективных путей уменьшения неопределенности заключается в применении физических моделей объектов управления<sup>1</sup>, а в перспективе физических комбинированных (натурно-математических) блоков генерирования внешних воздействий с обеспечением подобия всех элементов системы управления натурным объектом и физической модели.

Подтверждением сказанному служит система управления структурой и свойствами сталей при термоциклической обработке. В отличие от известной (см. сноску 1) в данную систему введены блоки обеспечения динамического подобия управляющих и выходных воздействий натурального объекта и физической модели. Структура системы представлена на рисунке, где приняты следующие обозначения:  $W$ ,  $U$  и  $Y$  – внешние, управляющие и выходные воздействия на натуральный объект;  $w$ ,  $u$ ,  $y$  – соответствующие

воздействия на физическую модель;  $Y^*$  – задающее воздействие.

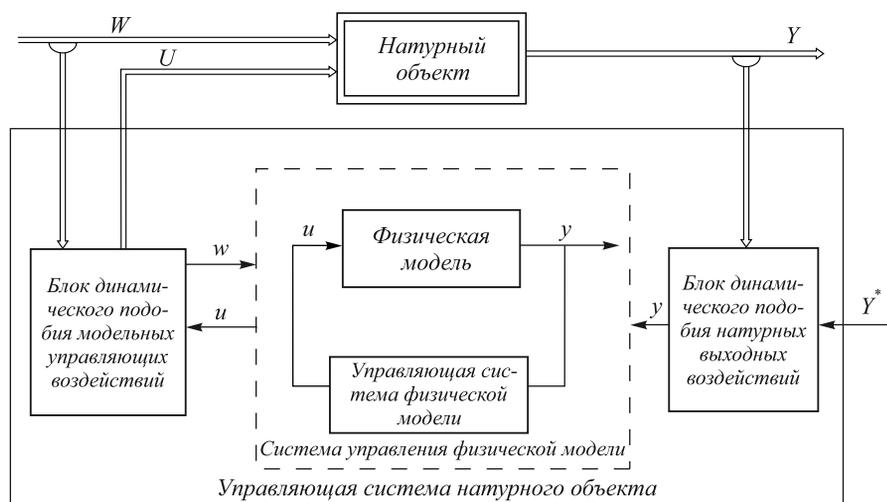
Эта система была реализована на примере управления процессом термоциклической обработки изделий из малоуглеродистой стали.

Термоциклическая обработка стальных изделий (натурных) проводилась на установке индукционного нагрева, температура нагрева регулировалась изменением мощности с помощью тиристорного преобразователя частоты. Нагреву подвергались стальные изделия, помещенные в индуктор, данные о температуре металла поступали с датчиков температуры – бесконтактных инфракрасных пирометров. Физическая модель была представлена малоразмерной индукционной нагревательной установкой малой мощности, в которой нагревались малоразмерные (модельные) стальные изделия.

Модельные изделия помещались в малоразмерную нагревательную установку, где начинался их нагрев по расчетной траектории. Через интервал времени  $\Delta t$ , равный 1/10 предполагаемой длительности нагрева натуральных изделий, производился новый расчет траектории нагрева модельных изделий. При этом температуры модельных и натуральных изделий выравнивались за счет корректировки длительности нагревов и охлаждений, величина которых рассчитывалась по выражению

\* Работа выполнена в рамках государственного задания № 7.4916.2011 Министерства образования и науки на выполнение СибГИУ научно-исследовательских работ.

<sup>1</sup> Красовский А.А. // Автоматика и телемеханика. 1979. № 2. С. 156 – 182.



Система управления с физической моделью

$$\Delta\tau(i) = \begin{cases} k_1 \{ T^p(i) - T^m(i) \} & \text{при } \{ \cdot \} \leq 0; \\ k_2 \{ T^p(i) - T^m(i) \} & \text{при } \{ \cdot \} > 0, \end{cases}$$

где  $\Delta\tau(i)$  – время дополнительного нагрева или охлаждения модельного изделия на  $i$ -ом такте управления;  $T^p$  – температура натурального изделия, переведенная в масштаб модельного;  $T^m$  – температура модельного изделия;  $k_1, k_2$  – пересчетные коэффициенты.

После выравнивания температур натурального и модельного изделий рассчитывали новую траекторию на-

грева, включающую величину и длительность нагрева с использованием физической модели. Затем полученная траектория пересчитывалась с помощью коэффициентов в траекторию нагрева натуральных изделий.

Таким образом, использование физических моделей и блоков обеспечения динамического подобиия в системе управления структурой и свойствами сталей при термоциклической обработке позволяет повысить эффективность управления в условиях неопределенности.

© 2012 г. С.Н. Старовацкая, Л.П. Мышляев  
Поступила 22 октября 2012 г.

УДК 621.745.34:66.041.88

**А.В. Феоктистов**

Сибирский государственный индустриальный университет

## ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВАГРАНОЧНОГО РЕКУПЕРАТОРА КОНСТРУКЦИИ «ТРУБА В ТРУБЕ»\*

В вагранках с горячим дутьем часто используются рекуператоры из жаропрочной стали. При этом в зависимости от конструкции рекуператора, от состава и крупности шихтовых материалов температура горячего дутья находится в пределах от 400 до 620 °С. Однако такие рекуператоры в производственных условиях показали себя не надежными в работе из-за большой длины воздушного тракта, подсоса воздуха через несплошности и частых взрывов смеси газов, засорения и прогара жаростойких труб. Из сказанного следует, что необходимы новые конструктивные решения по разработке

рекуператоров, способных осуществлять подогрев дутья свыше 400 °С и работать в условиях длительной кампании.

С целью поиска оптимальной конструкции рекуператора на кафедре литейного производства СибГИУ были разработаны различные конструкции рекуператоров типа «труба в трубе» и методика расчета их технологических параметров, включающая расчет состава колошниковых газов; расчет температуры воздуха и дымовых газов на выходе из рекуператора; расчет коэффициентов теплообмена и теплопередачи на дымовой стороне; расчет температуры подогрева воздуха для противотока; расчет температуры подогрева воздуха для прямотока; расчет количества воздуха на дожигание оксида углеро-

\* Работа выполнена по заказу Министерства образования и науки РФ (№ 7.3909.2011).