

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАДАНИЙ ЗОННЫМ РЕГУЛЯТОРАМ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ НАГРЕВОМ МЕТАЛЛА

*Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Ахметов Т.У., Ахметова А.У., Жадинский Д.Ю.*

**Аннотация.** Расчетная траектория оптимального управления нагревом слябовых заготовок перед прокаткой представляет собой функцию температурных параметров заготовки (температура центра и поверхности) от времени. При реализации оптимального управления нагревательными печами проходного типа основной проблемой является переход от расчетных оптимальных траекторий нагрева каждой заготовки к уставкам температур по зонам нагревательной печи. Задача усложняется неравномерной скоростью перемещения заготовок по длине печи и различием в начальном тепловом состоянии отдельных партий заготовок. В работе рассмотрена реализация оптимального энергосберегающего режима с помощью метода определения заданных значений температурных параметров в каждой зоне нагрева методической печи. Показаны возможности описываемого метода в условиях промышленной печи стана 2000 ОАО «ММК», при существующем режиме работы и при реализации оптимального энергосберегающего режима нагрева. Основным результатом реализации метода в виде подсистемы для локального регулятора являются значения уставок температур по зонам нагрева. Перерасчет уставок происходит непрерывно с учетом скорости и текущего теплового состояния нагреваемых заготовок. **Ключевые слова:** интенсификация, нестационарный режим, энергосберегающее управление, оптимальное управление, расход топлива, автоматизированная система, контроль температуры, нагрев металла.

### DETERMINATION OF THE TARGETS FOR ZONED TEMPERATURE REGULATORS USING THE ENERGY SAVING CONTROL OF THE METAL HEATING

*Parsunkin B.N., Sergey A.M., Akhmetov T.U., Akhmetova A.U., Zhadinsky D.Y.*

**Abstract.** The calculated path of optimal control management of slab heating before rolling preforms is a function of the workpiece temperature parameters (center and surface temperatures) of time. While the process of implementing the optimal control heating furnaces transmission type main problem is the transition from the calculated optimal trajectories of each workpiece heating temperature setpoint to the zones of the heating furnace. The task is complicated by the uneven speed of movement blanks on the length of the furnace, and the difference in the initial thermal state of individual parties blanks. The paper deals with the realization of the optimal energy-saving mode with the help of the method for determining the set values of temperature settings for each heating zone reheating furnace. The possibilities of the method described in industrial furnace rolling mill 2000 JSC "MMK", under the existing mode of operation and the implementation of the optimal energy-saving heating mode. The main result of the implementation of the method in the form of subsystems for local control are setting values of temperatures of the heating zones. Recalculation setting occurs continuously with the speed and current thermal state of the heated billets.

**Keywords:** intensification, transient mode, energy saving control, optimal control, fuel consumption, the automated system, temperature control, heating of the metal.

### Введение

Реализация оптимального энергосберегающего режима нагрева металла в печах проходного типа обеспечивается при наличии резерва времени путем интенсификации нагрева на заключительном интервале общего времени нагрева [1].

В условиях нестационарного режима работы прокатного стана [2,3] у технологического персонала имеется свобода выбора [4] (в пределах технологической инструкции) способа распределения тепловых нагрузок по зонам печи за счет установки заданных значений температур зонным регуляторам. Поэтому для обеспечения возможного, часто непредсказуемого, увеличения производительности стана (от 200 до 1000 т/ч) технологический персонал стремится иметь неоправданно и необоснованно завышенный запас нагретого и готового к выдаче металла. И такой затратный режим, минимизирующий время нагрева заготовок в печи, сохраняется даже при наличии резерва времени по нагреву при работе стана с пониженной производительностью.

Управление тепловым режимом автономное, в каждой зоне нагрева осуществляется по температуре греющей среды (рабочего пространства) –  $t_{гс}(\tau)$  или по температуре поверхности металла (вернее поверхностного слоя окалины) –  $t_{пов}(\tau)$ , измеряемых датчиками, установленными на фиксированной длине печи. Поэтому при реализации энергосберегающего оптимального управления тепловым режимом нагрева актуальным является определение заданий зонным регуляторам температуры при реализации расчетной температурной траектории.

В каждой зоне методической печи одновременно нагреваются несколько заготовок с различными теплофизическими свойствами и начальным тепловым состоянием. В идеальном случае каждая заготовка требует нагрева по индивидуальной оптимальной, с точки зрения выбранного критерия управления, температурной траектории во времени или по длине печи. Причем критерии оптимальности управления и траектории температуры для двух рядом нагреваемых заготовок могут быть различными [6].

При фиксированной длине зоны нагрева на все расположенные в зоне заготовки приходится одно управляющее воздействие – расход топлива в данную зону, установленное зонным регулятором температуры [7, 9, 10]. Управление тепловым режимом в таких условиях целесообразно осуществлять по оптимальной температурной траектории, рассчитанной для самой «холодной» заготовки с одновременным контролем температурных параметров при выходе их на ограничения для «горячих» заготовок, не допуская оплавления окалины.

**Методика определения заданий зонным регулятором**

В автоматизированной системе оптимального энергосберегающего управления нагревом определяются траектории контролируемых температурных параметров для каждой нагреваемой заготовки. Определяется общая уставка заданного значения  $t_{пов}^3(\tau)$  или  $t_{гс}^3(\tau)$  по зонам с учетом индивидуальных траекторий всех заготовок, расположенных в данной зоне. Расчетные оптимальные траектории температурных параметров являются функцией времени. Для решения задачи управления дополнительно необходима информация о температурных траекториях по длине рабочего пространства нагревательной печи. При переменной производительности печи необходимо от изменения температурных параметров во времени перейти к изменению этих параметров по длине печи в соответствии с выражением:

$$\frac{dt_{гс}(\tau)}{d\tau} = V(\tau) \frac{dt_{гс}(l)}{dl}; \frac{dt_{пов}(\tau)}{d\tau} = V(\tau) \cdot \frac{dt_{пов}(l)}{dl}, \tag{1}$$

где  $V(\tau)$  – скорость движения заготовки во времени по длине печи, м/с;  $l$  – координата движения металла по длине печи по данным системы контроля за положением каждой заготовки в печи;  $dt_{гс}(\tau)$ ,  $dt_{пов}(\tau)$  – изменение температурных параметров по ходу нагрева во времени.

Скорость движения заготовки определяется в соответствии с прогнозируемой траекторией перемещения заготовки:

$$V(\tau) = \frac{dS(\tau)}{d\tau}, \tag{2}$$

где  $S(\tau)$  – прогнозируемая траектория перемещения заготовки по длине печи, м;  $\tau$  – текущее время, с.

Для управления температурным режимом в каждой отапливаемой зоне используется автономный стабилизирующий контур, реализующий управление расходом топлива в соответствии с заданным значение температурного параметра и принятого ПИ и ПИД – закона управления.

Значения температурного параметра принимается в месте установки датчика температуры по длине зоны нагрева.

Каждую преобразованную оптимальную траекторию температурного параметра  $t_{пов}(l)$  или  $t_{гс}(l)$  для заготовок, расположенных в данной зоне необходимо распределить на несколько отрезков  $\Delta l$  (см. рис.1).

Для участка траектории  $\bar{t}_{ср}^*$  одной заготовки  $AB$  в границах одной зоны от  $l_1$  до  $l_2$  заданное значение температурного параметра  $t_{гс}^3(l)$  по длине зон опре-

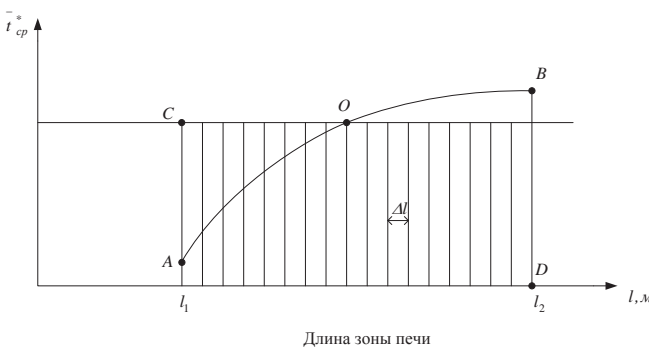


Рис. 1. Определение заданного значения температурного параметра в зоне печи для одной заготовки

деляется в соответствии с выражением:

$$t_{rc}^3(l) = \frac{\int_{l_1}^{l_2} t(l) dl}{l_1 - l_2}. \quad (3)$$

Аналогично находятся  $t_{rc}^3(l)$  или  $t_{пов}^3(l)$  для каждой заготовки при условии, что датчик температуры установлен посередине выделенной зоны. При нагреве в зоне заготовок с незначительно отличающимися траекториями результирующее значение  $t_{rc}^3(l)$  или  $t_{пов}^3(l)$  определяется как средневзвешенное.

Если величины  $t_{пов}^3(l)$  или  $t_{rc}^3(l)$  различаются более чем на  $10 \div 15$  °С, то установка регулятора в зоне выбирается исходя из обеспечения гарантированного нагрева самой «холодной» заготовки.

На практике датчики температурных параметров обычно устанавливаются на 2/3 конструктивной длины зоны. Поэтому для расчета  $t_{пов}^3(l)$  и  $t_{rc}^3(l)$  целесообразно выбирать такие участки по длине печи, для которых датчики находятся симметрично относительно начала  $l_1$  и конца  $l_2$  участка оптимальной траектории. Это можно объяснить следующим характерным для проходных печей обстоятельством. Несмотря на конструктивное разделение рабочего пространства на зоны нагрева с индивидуальным управлением, взаимное влияние зон по ходу продуктов сгорания очень существенно [2].

Уставки регуляторам температурного режима в нижних зонах можно осуществлять по рассмотренному методу или по способу, предложенному в работе [5].

Наиболее приемлемым способом управления тепловым режимом в нижних зонах является способ управления по принципу объемного пропорционирования расходов топлива в соответствующие над ними верхние зоны.

Для исключения частого изменения задания температуры в зоне [8], при поступлении в зону очередной заготовки необходимо задать определенный диапазон заданных значений температуры  $\pm 10$ °С, при котором изменение задания регулятору температуры в зоне не происходит.

Рассмотренная методика определения заданных значений температурных параметров в отапливаемых зонах методических печей при реализации энергосберегающих режимов нагрева рассчитана на программную реализацию и является важным элементом автоматизированной системы.

Результатом расчета заданных значений  $t_{пов}^3(l)$  и  $t_{rc}^3(l)$  для условий методических печей стана 2000 ОАО «ММК», при существующем режиме управления нагревом и при оптимальном энергосберегающем режиме управления, представлено на рис. 2 для одинаковых условий нагрева непрерывнолитой заготовки толщиной 250 мм холодного посада за заданной время 220 мин.

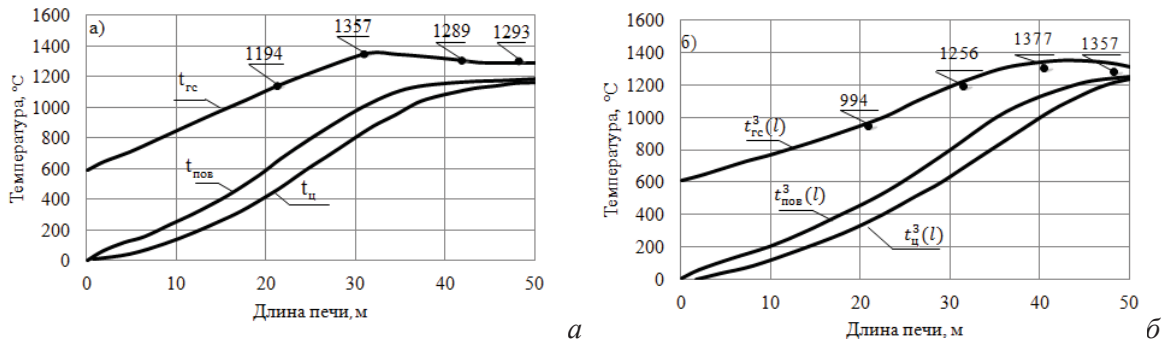


Рис. 2. Результаты расчета уставок температуры в зоны методической печи стана 2000 ОАО «ММК» для оптимального топливосберегающего нагрева холодного посада (время нагрева 220 мин, УРУТ 53,4 кг/т): а – для существующего распределения температур по зонам; б – для оптимального топливосберегающего режима нагрева

При энергосберегающем оптимальном режиме нагрева интенсификация тепловой нагрузки осуществлена в последних по ходу металлах зонах [9].

## Заключение

Переход на оптимальный энергосберегающий режим нагрева позволяет уменьшить удельный расход условного топлива с 56,5кг/т до 53,4кг/т или почти на 5,5%.

Для реализации энергосберегающего режима необходимо изменение конструкции рабочего пространства путем замены горелок томильной зоны на более производительные (ГР-350 на ГР-750).

Согласно результатам предварительного расчета, при существующей производительности стана 2000 ОАО «ММК» и его стоимости газа 1000 м<sup>3</sup> – 1163 руб., годовая экономия от снижения затрат природного газа составит 6297×10<sup>3</sup>м<sup>3</sup> или 7.4 млн руб. на одну печь при оптимальной окупаемости 2÷2,5 года работы по замене горелок и трубопроводов.

Кроме увеличения производительности горелок в последних по ходу металла зонах методических печей целесообразно конструктивное разделение рабочего пространства на большее число отливаемых зон. Это необходимо для более точной реализации расчетных оптимальных температурных траекторий в соответствии с использованием текущих критериев оптимальности управления в зависимости от реальной производственной ситуации, отдавая предпочтение энергосберегающим режимам, минимизирующим затраты топлива на нагрев или минимизирующих себестоимость нагрева.

## Список используемых источников

1. Андреев, С.М. Оптимизация режимов управления нагревом заготовок в печах проходного типа: монография / С.М. Андреев, Б.Н. Парсункин. – Магнитогорск.: Изд-во МГТУ им. Г.И. Носова, 2013. – 376с.
2. Парсункин, Б.Н. Энергосберегающий нагрев непрерывнолитых заготовок в нестационарных условиях работы методических печей [Текст] / Б.Н. Парсункин, С.М. Андреев, Т.У. Ахметов // Сталь. – 2014. – № 4 – С. 48-52.
3. Парсункин, Б.Н. О реализации энергосберегающих режимов нагрева непрерывнолитых заготовок перед прокаткой/ Парсункин, Б.Н., С.М. Андреев, Д.Ю. Жадинский // Сталь. – 2008, – №12. – С. 44-46.
4. Генкин, А.Л. Проблемы энергосберегающего управления листопрокатным комплексом) Ч.1 [Текст]/ А.Л. Генкин, А.Р. Куделин // Проблемы управления. – 2006. – № 6. – С. 50-54.
5. Панферов, В. И. Расчет установок регуляторов температуры в зонах методической печи [Текст] : учеб. пособие для АСУТП специальностей вузов / В.И. Панферов. – Челябинск.: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – 650 с.
6. Глинков, М. А., Глинков, Г. М. Общая теория тепловой работы печей [Текст]: монография / М.А. Глинков, Г.М. Глинков. – Магнитогорск.: Изд-во МГТУ им. Г.И. Носова, 2011. – 231 с.
7. Панферов, В. Н. К контролю и анализу температурных полей массивных тел в период выравнивания при нулевом тепловом погоне через поверхность печей [Текст]: монография / В.Н.Панферов. – Магнитогорск.: Изд-во МГТУ им. Г.И. Носова, 2011, – 245с
8. Панферов, В. Н. Об алгоритме косвенного контроля и особенностях температурных полей массивных тел в период выдержки при постоянной температуре поверхности типа [Текст]: монография / В.Н. Панферов– Магнитогорск.: Изд-во МГТУ им. Г.И. Носова, 1988. – 423 с.
9. Андреев, С.М. Система оптимального управления тепловым режимом промышленных печей / С.М. Андреев, Б.Н. Парсункин // Машиностроение : сетевой электронный научный журнал. 2013. – №2. – С.18-29.
10. Шестаков, А.Л. Динамическая точность измерительного преобразователя с корректирующим устройством в виде модели датчика // Метрология. 1987. – № 2. – С. 26-34.

**Парсункин Борис Николаевич** – д-р техн. наук, действительный член АИН им. А.М. Прохорова, проф. кафедры «Автоматизированные системы управления» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: [pk-su035@gmail.com](mailto:pk-su035@gmail.com).

**Андреев Сергей Михайлович** – канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой «Автоматизированные системы управления» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. 8(3519)298527. E-mail: [pk\\_su@bk.ru](mailto:pk_su@bk.ru).

**Ахметов Тимур Уралович** – аспирант кафедры «Автоматизированные системы управления» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

**Ахметова Айгуль Ураловна** – студент кафедры «Вычислительная техника и программирование» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

**Жадинский Дмитрий Юрьевич** – канд. техн. наук, ведущий специалист, ОАО «ММК».

---

Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Ахметов Т.У., Ахметова А.У., Жадинский Д.Ю. Определение заданий зонным регуляторам температуры при реализации энергосберегающего управления нагревом металла // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2015. – №1. – С. 16-19.

Parsunkin, B.N., Sergey, A.M., Akhmetov, T.U., Akhmetova, A.U. and Zhadinsky D.Y. (2015). Setting targets zoned temperature regulators in the implementation of energy-saving heating control metal. Software of systems in the industrial and social fields, 5 (1): 16-19.