

УДК 681.5.08

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ТЕПЛООВОГО ОБМЕНА В ПРОХОДНОЙ ПЕЧИ И ЕГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРИ ПОМОЩИ SCADA СИСТЕМ**Томилин Е. М., Чичикало Н. И.**

Донецкий национальный технический университет, кафедра ЭТ

Abstract. Tomylyn E.M., Chychykalo N.I. Development models of authentication of thermal exchange in a communicating stove and his adjustings through the SCADA systems. In the article the mathematical model of crust forms annealing temperature estimation for casting in extrusion thermal stove space is offered, and also the simplest example of maintenance the set stove temperature type through the SCADA system Advantech Genie is considered. There are considered a temperature sensor setting place, which influence on stove thermal balance determination exactness. The offered method can also be used for the control exactness rise and the extrusion stoves thermal state maintenance, such as inundation, annealing and cooling precision casting areas aggregates.

Актуальность задачи. Литьё является одной из важнейших отраслей промышленности. Для повышения качества изделий, получаемых литьём по выплавляемым моделям, необходимо соблюдать строгий температурный режим прокаливания литейных форм. Необходимо измерять и поддерживать постоянной температуру в зонах при наличии технологических и возмущающих факторов, таких как изменение типа форм, неравномерная загрузка печи, поступление холодного воздуха при открывании дверей цеха и т.д. При помощи тепловых расчетов можно в значительной степени удовлетворительно описать процессы распределения температуры в зонах. Однако они не решают задачи прогнозирования и устранения возможных нарушений теплового баланса печи в реальных условиях работы объекта. Знание характера распределения температур в пространстве печи и способа его оценивания в процессе работы позволит спрогнозировать нарушение теплового баланса печи в случае неравномерной загрузки или действия других возмущающих факторов, выполнить избирательное управление газовыми инжекционными горелками, и тем самым повысить качество изделий, а также сэкономить энергоресурсы. В связи со сказанным, направление данной работы является весьма актуальным.

Постановка задачи. Разработать модель идентификации теплового баланса проходной печи путем анализа взаимосвязи между позиционированием датчика технологического объекта и точностью измерений, используемых при тепловых расчетах в период проектирования тепловых газовых агрегатов.

Оценить точность измерения температуры поверхности прокаливаемых форм для литья при условии предполагаемого места установки датчиков температуры и последующего моделирования процесса нагрева.

Обосновать возможность осуществления поддержания заданного температурного профиля печи при помощи ПИД-регулятора.

Целью данной работы является разработка модели идентификации теплового баланса проходной печи с использованием методик математического моделирования тепловой работы промышленных печей с последующей оценкой точности нагрева прокаливаемых форм и проверка отработки прибором реакции на внешние возмущающие факторы.

В статье предложена математическая модель оценки температуры прокали корковых форм для литья в пространстве толкательной термической печи, а также рассмотрен простейший пример поддержания заданного температурного профиля печи при помощи SCADA системы Advantech Genie. Рассматривается влияние места установки датчика температуры на точность определения теплового баланса печи. Предложенная методика может быть использована также

для повышения точности контроля и поддержания теплового состояния проходных печей типа агрегатов заливки, отжига и охлаждения участков точного литья.

Анализ известных решений. Объектом является печь, оборудованная беспламенными газовыми горелками. Температура первой зоны обуславливается введением новых форм и как следствие – постоянными потерями теплоты. Температура второй и третьей зон обуславливается температурой отжига технологического процесса (см. рис. 1).

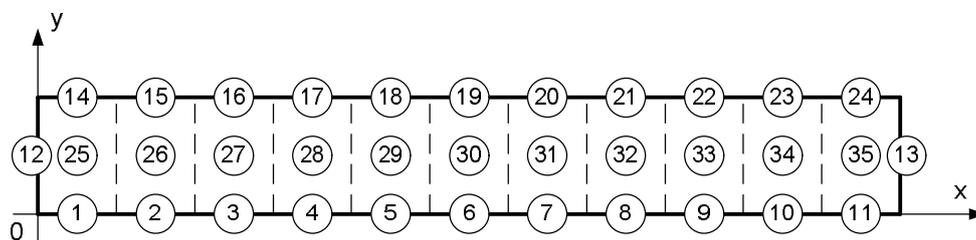


Рис. 1. Принятая модель объекта, используемая в эксперименте

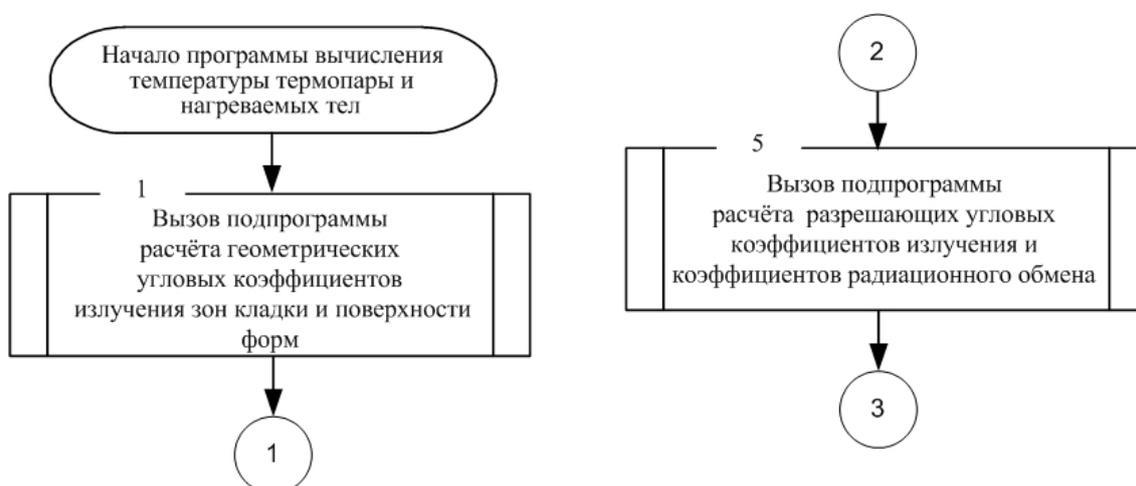
Здесь зоны с номерами 1-11 – это поверхность нагреваемых форм, 12-24 – поверхность кладки, 25-35 – объёмные газовые зоны. Таким образом, мы будем рассматривать изменение температуры форм только вдоль их сечения. Расчёт температур кладки, форм и газовых зон осуществляется при помощи резольвентного зонального метода [2].

Изложение основного материала

При составлении модели приняты следующие допущения.

1. Температуры форм, футеровки и дымовых газов постоянны по ширине печи.
2. Нагрев форм является симметричным, следовательно, расчёт теплообмена можно производить только для одной (верхней) половины рабочего пространства печи.
3. Температуры футеровки и продуктов сгорания постоянны в пределах каждой зоны.
4. Плотность потока тепловых потерь через футеровку приближённо равна плотности потока конвективной теплоотдачи от дымовых газов к внутренней поверхности футеровки, поэтому лучистую составляющую результирующего теплового потока на этой поверхности можно считать равной нулю.
5. Для всех поверхностных зон коэффициент конвективной теплоотдачи $\alpha = \text{const}$.
6. Состав продуктов сгорания постоянен по всему рабочему пространству печи, а их средняя удельная теплоёмкость не зависит от температуры.
7. Все тела, принимающие участие в теплообмене являются серыми.
8. Термопару, при моделировании прогревания, представим в виде фарфорового цилиндра, имеющего бесконечную длину.

Для расчёта температуры зон применим резольвентный зональный метод [2].



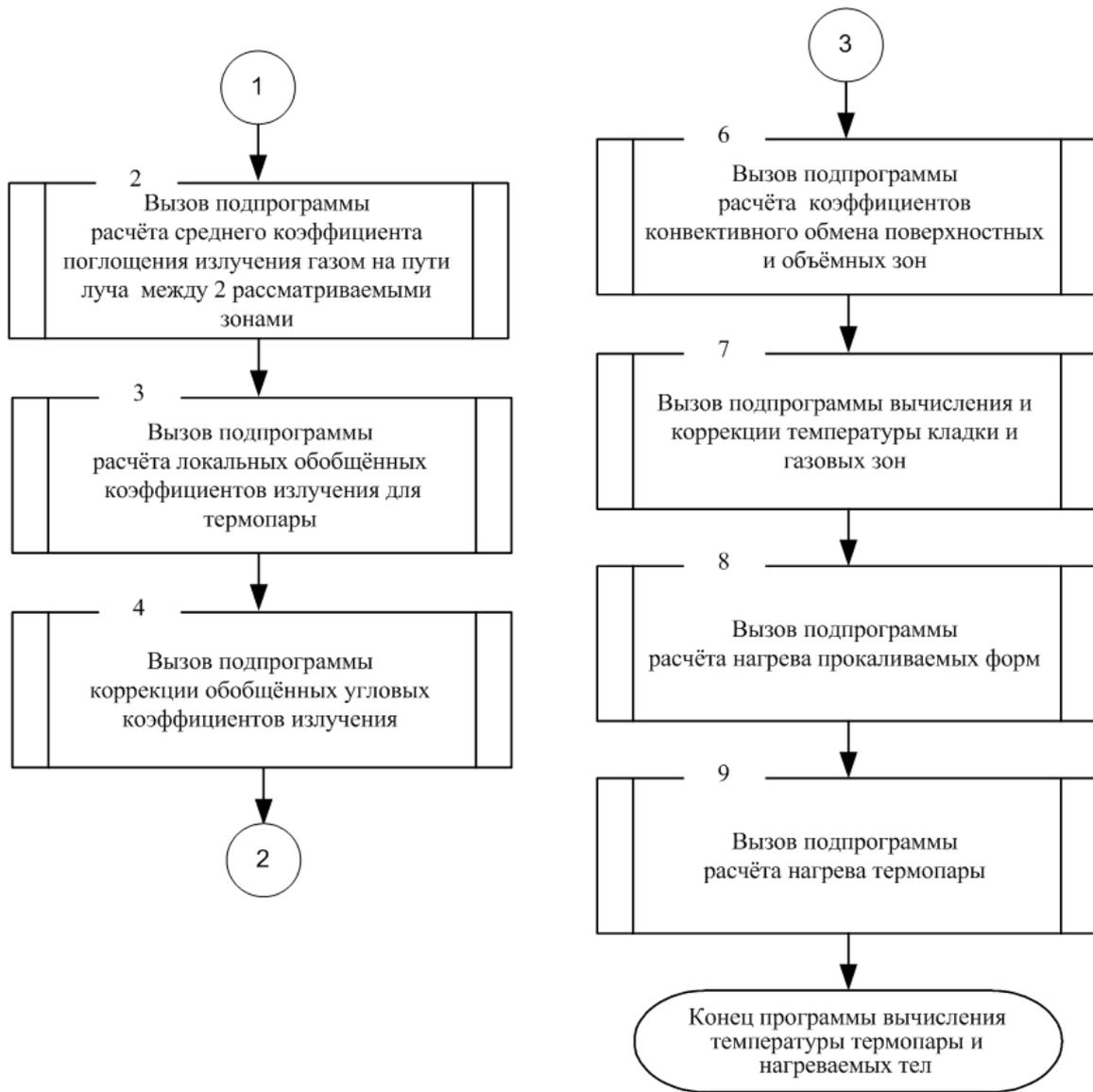


Рис. 2. Блок-схема подпрограммы вычисления температур нагреваемых тел

Расчёт геометрических угловых коэффициентов излучения для термопары

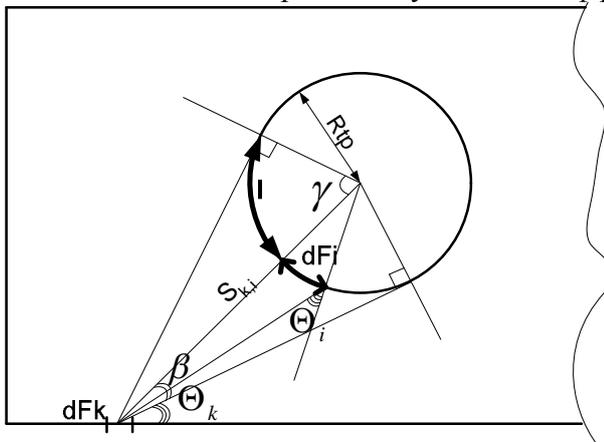


Рис. 3. К расчёту обобщённых угловых коэффициентов излучения

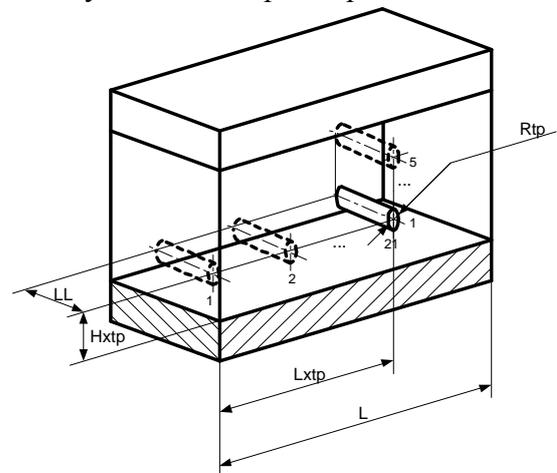


Рис. 4. Предполагаемые способы перемещения термопары в печи

Формулы расчёта обобщённых угловых коэффициентов излучения приведенные в [2] расположены ниже:

$$\phi_{k,i} = \int_{F_k} \int_{F_i} \frac{\cos(\Theta_k) \cdot \cos(\Theta_i)}{\pi \cdot s_{k,i}^2} \cdot e^{-k \cdot s_{k,i}} dF_i dF_k, \quad (6)$$

где $s_{k,i}$ – расстояние между элементами dF_k и dF_i ; dF_k и dF_i – элементарные площадки; Θ_k и Θ_i – углы между нормальными к элементам dF_k и dF_i и направлением $s_{k,i}$; k – средний коэффициент поглощения газа на пути $s_{k,i}$, F_k и F_i – площади, по которым производится интегрирование.

$$\Theta_i = \frac{l_i}{Rtp} + \operatorname{arcctg} \left[\frac{\frac{\sqrt{Htp_i^2 + Ltp^2}}{Rtp} - \cos\left(\frac{l_i}{Rtp}\right)}{\sin\left(\frac{l_i}{Rtp}\right)} \right], \quad (7)$$

$$\Theta_k = \operatorname{arctg}\left(\frac{Htp_i}{Ltp}\right) \pm \operatorname{arcctg} \left[\frac{\frac{\sqrt{Htp_i^2 + Ltp^2}}{Rtp} - \cos\left(\frac{larc}{Rtp}\right)}{\sin\left(\frac{larc}{Rtp}\right)} \right], \quad (8)$$

$$s_{k,i} = \frac{l_i}{\sin \left[\operatorname{arcctg} \left[\frac{\frac{\sqrt{Htp_i^2 + Ltp^2}}{Rtp} - \cos\left(\frac{l_i}{Rtp}\right)}{\sin\left(\frac{l_i}{Rtp}\right)} \right] \right]}, \quad (9)$$

где $larc$ – длина дуги окружности, по которой происходит интегрирование; Rtp – радиус термопары; Ltp – длина активной части термопары; l_i – текущее значение длины дуги окружности ($dF=dl \cdot Ltp$); Htp – высота центра термопары над подом.

Выполним сравнение температурных профилей поверхности форм

Ниже, на рисунке 7 представлены рассчитанные теоретические температурные профили поверхности прокаливаемых форм, по всей длине печи. Они приняты за истину. Расчёт температур кладки, объёмных газовых зон, поверхности прокаливаемых форм для литья, а также температур в предполагаемом месте установки термопар, производился при помощи резольвентного зонального метода и с помощью явной разностной схемы [2].

Рассчитаем значения температур термопары в 105 точках, при следующих координатах датчика: по оси Ox , м – $(L1 \cdot k)/2$, где $k=1 \dots 21$; по оси Oy , м – 0,02 (расстояние между кожухом термопары и поверхностью формы $\rightarrow 0$), 0,08, 0,125, 0,250, 0,375, 0,500. Далее, на рис. 8 представлены показания измерительного прибора. На рисунке 9 приведена разность этих показаний.

Наличие возмущающих факторов, таких как, например, неравномерность прогреваемой массы, вызванная сменой форм деталей, пропуски модельной массы, временное открытие заслонок и т.п. может приводить к существенному искажению температурного профиля внутри печи.

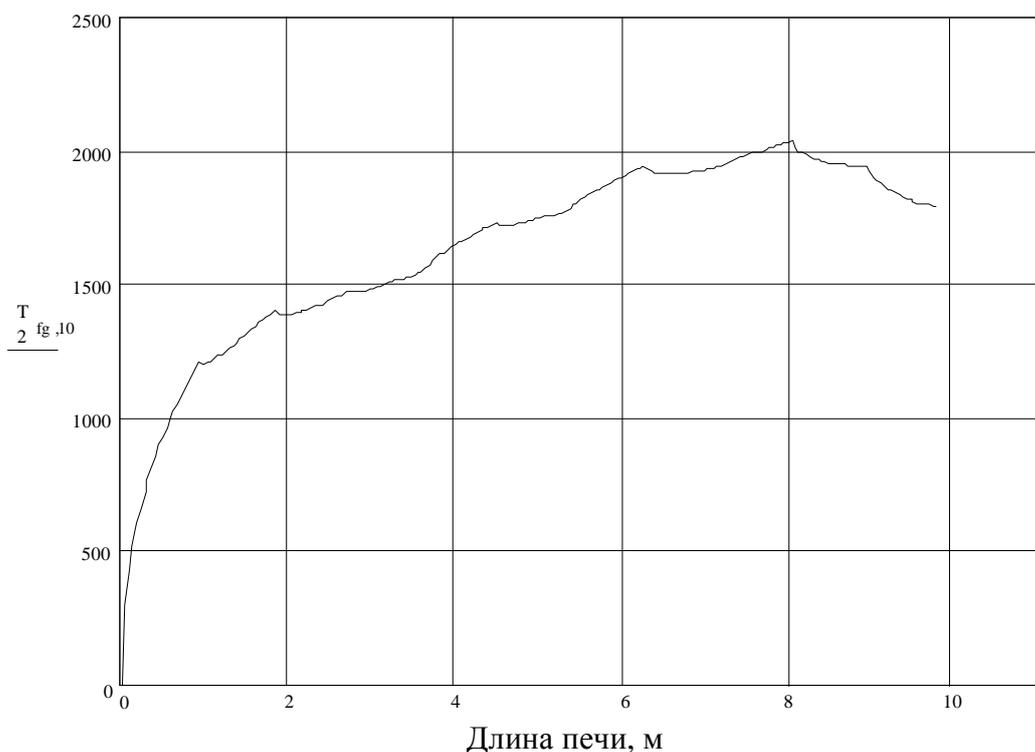


Рис. 5. Теоретическая температура поверхности прокаливаемых форм

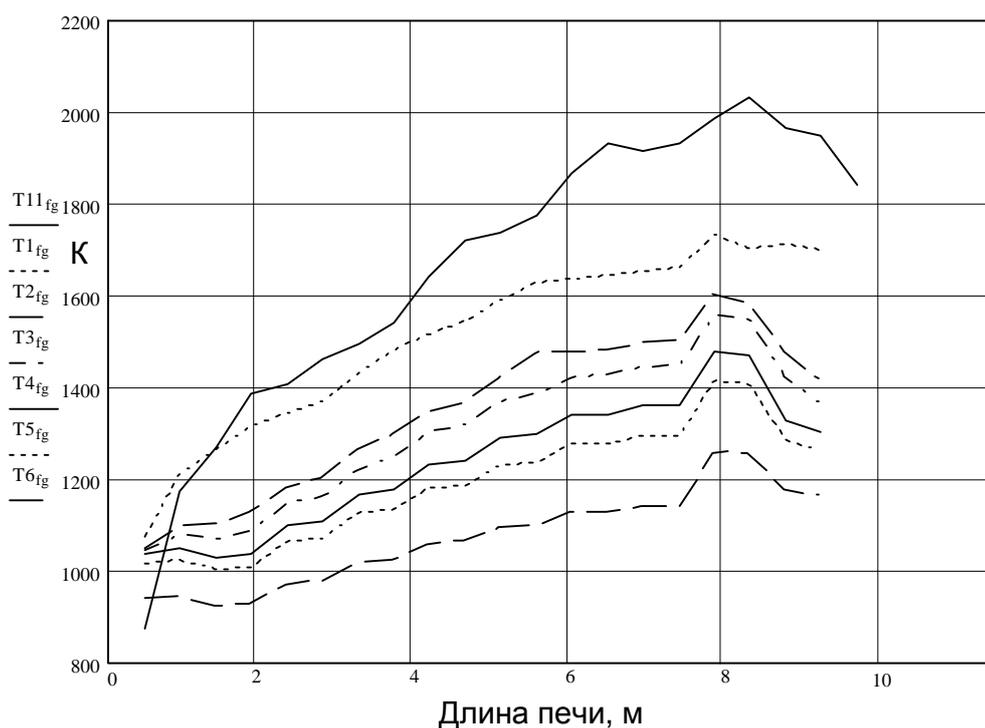


Рис. 6. Температура датчика, для 105 его положений в печи

Одним из способов решения данной проблемы является регулировка подачи топлива к горелкам по какому-либо закону. Наиболее часто используют ПИД закон регулирования. Обычно за его реализацию отвечает программируемый логический контроллер (ПЛК). Однако задачу управления можно решить и при помощи SCADA систем.

Одной из таких систем является Advantech Genie. В ней есть такой встроенный компонент, как PID. Именно с его помощью можно реализовать П, ПИ, или ПИД закон регулирования. Он представлен на рисунке 10. Здесь Filter Constant – постоянная фильтрации, при

помощи которой можно подавлять определённый уровень возможных входных шумов; High Clamp – максимальный верхний предел выходного сигнала регулятора; Low Clamp – максимальный нижний предел выходного сигнала регулятора; Rate Clamp – ограничение по скорости; Feedback From – канал обратной связи; Setpoint – уставка; P Value – значение пропорциональной составляющей; I Value – значение интегральной составляющей; D Value – значение дифференциальной составляющей. На рисунке 11 приведена реакция системы с ПИ регулятором на действие некоторого возмущающего фактора, приводящего к падению температуры в печи на 200°C. На рисунке 12 приведена схема моделирования опыта. Здесь блок SCR2 связан с кнопкой disturbance, по нажатию которой происходит падение изначально заданного уровня температуры. Блок SCR1 необходим для передачи и преобразования сигнала, поступающего с блока PID. На практике сигнал с выхода блока подаётся на аналоговые выходы модулей ADAM 4000 или ADAM 5000 при помощи COM-порта.

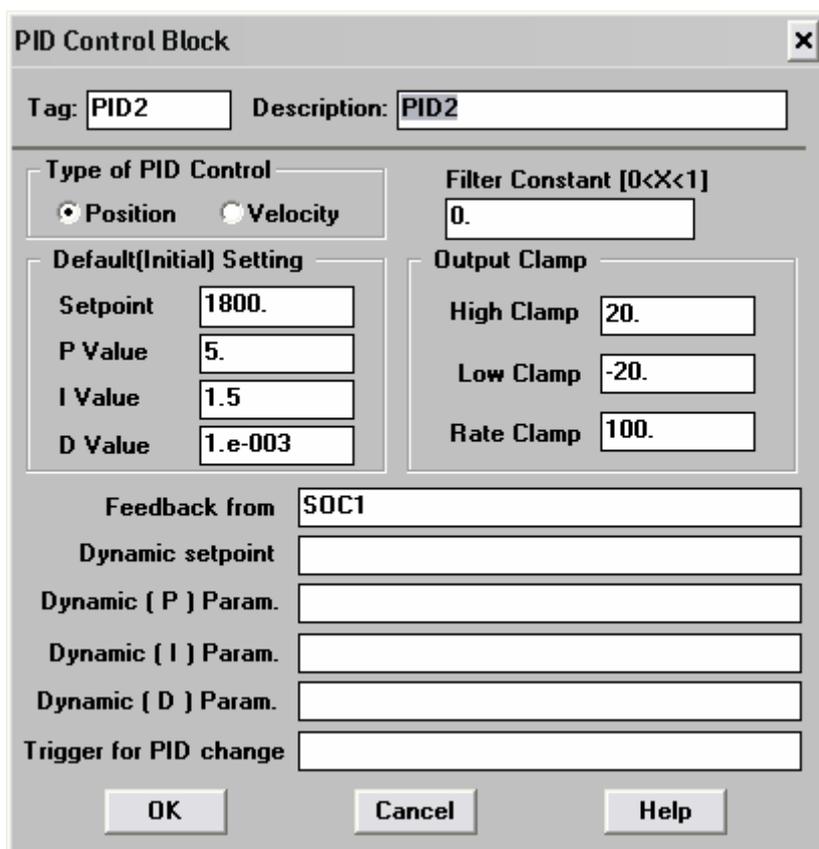


Рис. 7. Интерфейс ПИД регулятора в SCADA системе Advantech Genie

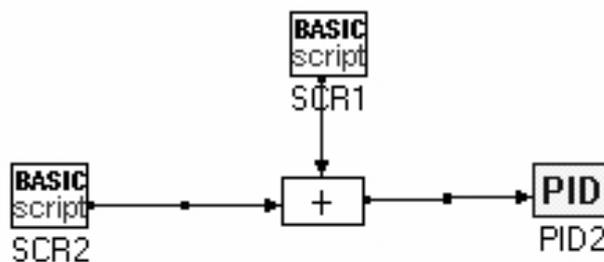


Рис. 8. Схема моделирования опыта

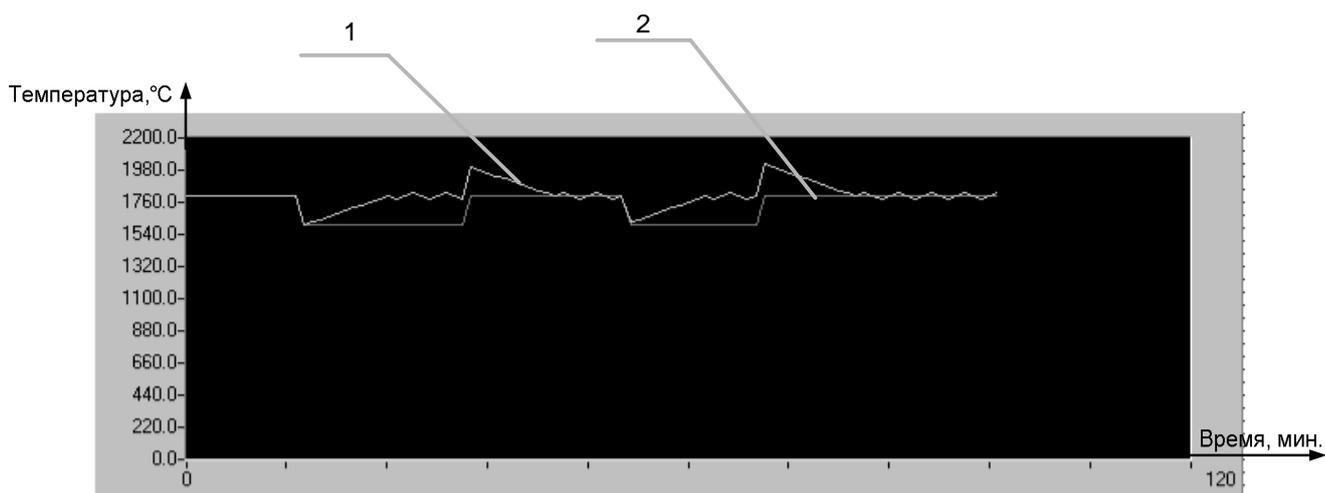


Рис. 9. Реакция системы с ПИ регулятором на действие возмущающего фактора

На рисунке 9 изображены:

1 – реакция системы на возмущающее воздействие;

2 – сигнал, при помощи которого моделируется поведение температуры одной из зон печи.

Выводы

1. На основании выполненного анализа обобщённых математических зависимостей, описывающих тепловые процессы в проходных печах и проведенных теоретических экспериментов разработана математическая модель идентификации теплового обмена процессов в толкательной термической печи на газе для прокатки литейных форм.

2. Выполнена оценка точности идентификации модели. Максимальное расхождение соответствующих температур поверхности форм и температур в месте установки датчика составило 209°C , что соответствует реальным физическим процессам

3. Выполнена отработка системой реакции на возмущающие внешние воздействия, вызывающие колебания температуры. Данную SCADA систему можно применять для регулировки и поддержания заданного температурного профиля печи.

Литература

1. Автоматизация методических печей. Под ред. М. Д. Климовицкого. Москва, «Металлургия», 1981г.
2. Математическое моделирование тепловой работы промышленных печей. В. А. Арутюнов, В. В. Бухмиров, С. А. Крупенников. Москва, «Металлургия», 1990г.
3. Расчёты печей и сушил силикатной промышленности. П. В. Левченко. Москва, «Высшая школа», 1968г.
4. Формовочные материалы. П. П. Берг. Москва, Машгиз, 1963г.
5. Теплопередача. В. П. Исаченко, В.А. Осипова, А. С. Сукомел. Москва, Энергоиздат, 1981г.
6. Теория теплопроводности. А. В. Лыков. Москва, «Высшая школа», 1967г.
7. Печи в литейном производстве (Атлас конструкций) Б. П. Благоднаров, М. Машиностроение, 1989г.