

КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ КОКСОВАНИЯ УГЛЯ

Ткаченко В.Н., Воропаева В.Я., Парфенюк А.С.

Донецкий национальный технический университет,
кафедра автоматике и телекоммуникаций, ФЭХТ

E-mail: tkachenko@iamm.ac.donetsk.ua

Abstract. *Tkachenko V., Voropaeva V., Parphenuk A. The computer system of process control of obtaining of coke from coal. Problem of computer control system synthesis of coal carbonization processes is considered. Main parts of computer control system - information system and control system of temperature mode of operation are described. Mathematical model is used for on-line temperature state forecast and control algorithms synthesis.*

Введение. Процесс коксования угля является одним из наиболее древних технологических процессов. Технология коксования, эксплуатируемое технологическое оборудование, КИП и автоматика введены в действие, в основном, в начале второй половины прошлого столетия и не претерпели к настоящему времени существенных изменений. В тоже время технологический процесс содержит значительные энергетические резервы, использование которых для Украины чрезвычайно важно, т.к. уголь остается фактически единственно доступным энергетическим ресурсом. Одна из возможностей снижения энергоемкости процесса коксования – это внедрение средств контроля и управления на основе микропроцессорной техники и современных методов управления.

Задачи системы управления процессом коксования. Целью создания компьютерной системы управления технологическим процессом в коксовых батареях (КСУПК) является управление тепловым режимом коксования угля, обеспечивающим высокое качество готовой продукции с минимальными затратами энергии при заданной производительности технологического комплекса. Не менее важным является также обеспечение персонала оперативной информацией о технологических параметрах [1,2], а также результатах производственной деятельности коксовой печи в течение смены, суток, месяца для принятия решений организационного характера.

Структурная схема и основные функции КСУПК. Структурно компьютерную систему управления можно представить в виде ряда подсистем, выделяемых по функциональному принципу (рис.1): информационные подсистемы различных уровней и подсистемы управления температурным и гидравлическим режимами коксования.

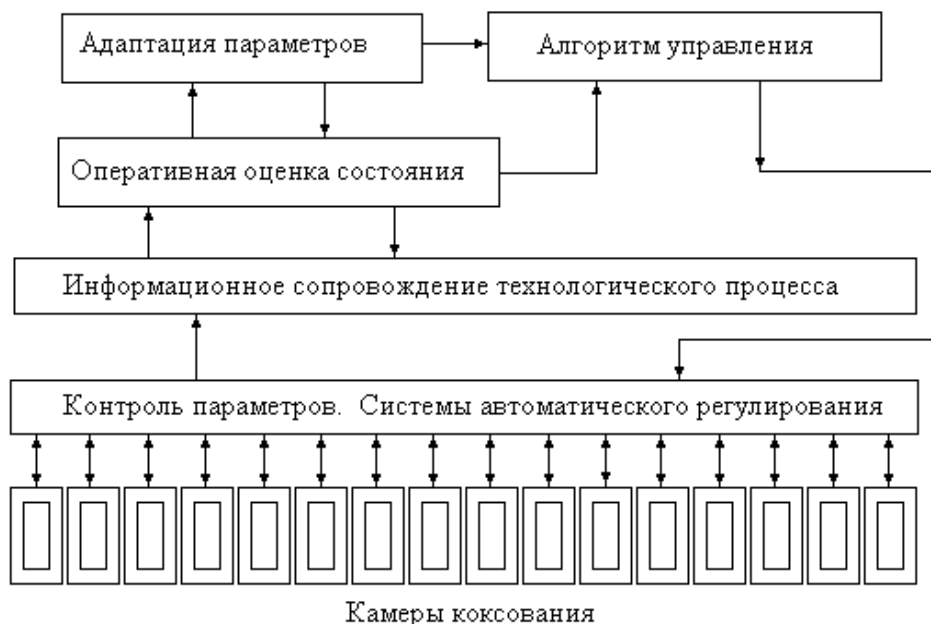


Рисунок 1 — Структурная схема компьютерной системы управления процессом коксования угля.

К информационным функциям компьютерной системы следует отнести:

1. Сбор, обработка и хранение первичной информации о технологических параметрах процесса производства кокса:

- обработка результатов первичных измерений (температур, давлений);
- фиксацию максимального тока электродвигателя выталкивающего устройства коксовой машины при выдаче кокса из камер;
- автоматическое ведение журнала суточного режима, а также протокола отклонений параметров от требуемых значений;
- оперативное слежение за выполнением графика заданного порядка загрузки и выгрузки, марочным составом шихты в камерах коксовой батареи;
- учет количества шихты, загруженной в печь, и количества выданного кокса;
- протоколирование информации о камерах коксования, из которых кокс выдан с нарушением графика выдачи, температурного режима или с превышением максимального значения тока выталкивающего устройства;

– расчет технико-экономических показателей работы батареи.

2. Получение информации о технологическом процессе на основе математической модели:

- оперативный прогноз температурного состояния коксуемой загрузки, теплового состояния камер коксования;
- прогнозирование фактического времени завершения процесса коксования при заданном тепловом режиме.

Управляющая функция системы состоит в определении требуемого температурного режима обогрева коксовой печи, обеспечивающего заданную план-графиком выгрузки производительность коксовой батареи на основании прогноза реально имеющегося температурного состояния коксовой загрузки в камерах батареи.

Подсистемы управления включают:

- систему автоматического регулирования (САР) параметров технологического процесса (температурный, гидравлический режим коксования, расход топлива), которую образуют контроллеры с цифровыми каналами связи с управляющей вычислительной машиной (УВМ);
- подсистему управления температурным режимом коксования, реализующую алгоритмы расчета управляющих воздействий на основе информации, поступающей от подсистемы оперативной оценки теплового состояния коксуемой массы;
- подсистему оперативной настройки параметров модели и адаптации алгоритмов управления.

Тепловой режим коксования должен обеспечить заданную производительность печи и требуемое качество кокса. Контроль над температурным режимом коксовой печи осуществляется путем измерения фотопирометром температур в контрольных вертикалах камер коксования 1-2 раза в смену. Характеристикой температурного режима обогрева батареи является средняя по всем камерам температура контрольных вертикалов с машинной и коксовой сторонами. Управление температурным режимом коксовой батареи осуществляется изменением расхода топлива на всю печь.

Математическая модель процесса коксования. В настоящее время отсутствуют надежные средства оперативного измерения температуры коксового пирога в камерах коксования. В связи с этим использование математической

модели процесса коксования для прогноза температурного состояния является единственно возможным средством получения оперативной информации о процессе. Таким образом, математическая модель процесса должна быть использована как алгоритмический инструмент для выполнения основных информационно–управляющих функций системы управления коксования угля [2].

Предлагаемая математическая модель описывает процесс коксования угля в два этапа: на первом этапе моделируется процесс от момента загрузки шихты до завершения процесса сушки, второй этап связан с моделированием дальнейшего прогрева загрузки с учетом горизонтальной усадки [3].

Процесс прогрева загрузки описывается уравнением:

$$(C\rho)_{\text{эф}}(T)\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda_{\text{эф}}(T)\frac{\partial T}{\partial x} \right] + \alpha_v(T^* - T), \quad (1)$$

для $x : 0 \leq x \leq L_s$.

Конвективный член в уравнении (1) учитывает тепло, передаваемое паром, диффундирующим к центру камеры, и определен для x в области, $0 \leq x \leq \xi_s(\tau)$, при $x > \xi_s(\tau)$, т. е. для сухой шихты, $\alpha_v = 0$.

Движение координаты границы между сухой и влажной шихтой задается условием Стефана:

$$\lambda_{\text{эф}}^e(T)\frac{\partial T_1(\xi, \tau)}{\partial x} - \lambda_{\text{эф}}(T)\frac{\partial T_2(\xi, \tau)}{\partial x} = rW\rho_{\text{эф}}(T)\frac{d\xi}{d\tau}. \quad (2)$$

Функции $T_1(\xi, \tau)$, $T_2(\xi, \tau)$ подчиняются уравнению теплопроводности (1) и описывают изменение температуры сухой и влажной шихты соответственно. На границе раздела сухой и влажной шихты ξ выполняется условие $T_1(\xi, \tau) = T_2(\xi, \tau) = T^*$, где T^* — температура испарения влаги. Условия контактного теплообмена между коксовым пирогом и стенкой камеры имеет вид:

$$\lambda_{\text{эф}}(T)\frac{\partial T(L_{s-}, \tau)}{\partial x} = \lambda_w(T)\frac{\partial T_w(L_{s+}, \tau)}{\partial x}, T(L_{s-}, \tau) = T_w(L_{s+}, \tau) \quad (3)$$

Для моделирования температуры стенки камеры используется одномерное уравнение теплопроводности с граничным условием на поверхности стенки со стороны факела:

$$\lambda_w(T) \frac{\partial T_w(L_w, \tau)}{\partial x} = \sigma \{ [U(\tau)]^4 - [T_w(L_w, \tau)]^4 \} + \alpha [U(\tau) - T_w(L_w, \tau)] \quad (4)$$

Начальные условия по температуре коксового пирога и стенки:

$$T(x, 0) = T^0(x), \quad T_w(x, 0) = T_w^0(x). \quad (5)$$

В уравнениях (1) – (5) приняты следующие обозначения:

$T(x, \tau)$ — функция распределения температуры по пространственной координате x и времени τ ; L_s, L_w — координаты положения границ коксового пирога и стенки; $C_{\rho_{эф}}(T)$ — объемная эффективная теплоемкость коксуемой загрузки; r — удельная теплота испарения влаги; W — содержание влаги в шихте; α_v — эффективный коэффициент теплообмена между паром и коксуемой загрузкой на единицу объема; σ, α — коэффициент лучистого и конвективного теплообмена между греющей средой вертикалов и стенкой; $U(\tau)$ — температура греющей среды вертикалов.

Настройка параметров модели. Для обеспечения требуемой точности прогноза температурного состояния коксуемой загрузки необходима настройка параметров модели. Идентифицируемые параметры могут быть разбиты на два типа: параметры, настраиваемые в автономном режиме на основании достаточно полной информации о процессе, и параметры, которые подстраиваются в оперативном режиме с использованием информации, получаемой штатными средствами контроля технологического процесса. Первый тип задач идентификации, требующий достаточно больших объемов информации и сложных методов и алгоритмов, относится к задачам начальной настройки.

Настройка математической модели по экспериментальным данным заключается в определении значений коэффициента теплообмена [4] между парогазовой смесью и шихтой в уравнении теплопроводности (1) — $\alpha_v(X, \tau)$, коэффициента лучистого теплообмена между факелом и стенкой $\sigma(\tau)$ в граничном условии (4). Задача настройки этих параметров должна решаться вне системы оперативного прогноза температурного состояния кокса.

Вторая группа коэффициентов математической модели связана с теплофизическими характеристиками шихты $C_p(T), \lambda(T)$, которые определяются марочным составом углей и влажностью W . Оперативная адаптация модели вы-

полняется по результатам измерений температуры выдаваемого из камер кокса. Наиболее эффективна адаптация коэффициента теплопроводности, аппроксимированного полиномом n -ой степени $\lambda(T) = \sum a_i T^i$, $i = 0, n$ [5], так как чувствительность температуры максимальна к изменению именно этого параметра. Кроме того, этот параметр входит не только в уравнение теплопроводности (1), но и в граничное условие (3), то есть влияет на величину теплового потока от стенки вертикала на поверхность коксуемой массы. “Грубая” подстройка выполняется простейшим алгоритмом на основе метода стохастической аппроксимации, т.е. адаптируется только коэффициент a_0 , при этом вид зависимости сохраняется.

Математическая модель используется для оперативного прогноза температурного состояния коксового пирога в камерах коксовой батареи и расчета требуемого управляющего воздействия — температуры вертикалов, на основании которой рассчитывается температурный режим коксовой батареи в целом. На момент времени очередного измерения температуры контрольных вертикалов τ_z рассчитываются температуры коксовой загрузки $T(x, \tau_z)$ и стенки вертикалов $T_w(x, \tau_z)$ — по всем камерам батареи. Оператор по специальному запросу может получить прогноз температуры коксового пирога на заданный момент времени по любой камере при текущем тепловом режиме.

Алгоритм управления процессом коксования. Отметим, что вследствие возмущающих воздействий тепловой режим батареи может отклоняться от номинального и температуру в камерах коксования следует рассматривать как случайную величину. Задача управления тепловым режимом батареи состоит в стабилизации температуры выдаваемого из камер кокса с учетом имевших место возмущающих воздействий.

Поскольку дать оценку температурного состояния коксуемой шихты по всей батарее в целом затруднительно из-за неоднородности температурного процесса коксования (наличия границы между сухой и влажной шихтой), воспользуемся осреднением управляющих воздействий $U_i(\tau)$, полученных для каждой камеры $i = 1, \dots, n$. Алгоритм расчета управляющего воздействия (температуры батареи) состоит в следующем. На первом этапе решаются задачи определения управляющего воздействия $U_i(\tau)$ по каждой камере коксования. По заданным в текущий момент времени температурам коксовой загрузки и стенки

вертикалов требуется определить температуру контрольных вертикалов, при которой к моменту времени τ^* , определенного план-графиком, температура по оси коксового пирога достигнет требуемой величины T^* (управления конечным состоянием):

$$T(0, \tau^*, U) = T^* \quad (6)$$

Задача (6) представляет собой краевую задачу с фиксированным правым концом и решается численными методами поиска корня уравнения (6) относительно $U = const$ с использованием модели (метод Ньютона). Затем, по полученным значениям необходимо определить управляющее воздействие $U_{печи}$ на печь в целом, используя температуры по каждой камере коксования $U_i(\tau)$. Поскольку $U_i(\tau)$ являются случайными величинами (вследствие случайного характера температуры загрузки $T_i(x, \tau_z)$) необходимо построить оптимальный фильтр для расчета управляющего воздействия $U_{печи}$. В качестве критерия оптимальности принимаем минимум среднеквадратического отклонения температуры кокса на выдаче.

Фильтр емкости n представляется в виде скользящего осреднения с некоторыми весовыми коэффициентами α_i :

$$U_{печи}(\tau) = \sum_{i=1}^n \alpha_i U_i(\tau), \text{ где } \sum_{i=1}^n \alpha_i = 1.$$

Целесообразно использовать различные стратегии управления в зависимости от характера протекания технологического процесса и имевших место возмущающих воздействий. В ситуации, когда возмущающие воздействия невелики по интенсивности и режим коксования можно считать близким к стационарному случайному процессу, оптимальным фильтром является простое арифметическое осреднение $U_i(\tau)$ на каждом такте расчета управляющего воздействия. При существенных возмущениях, вызывающих переходные процессы (изменение марочного состава, либо времени коксования при выходе из строя оборудования), целесообразно принять стратегию гарантированного управления, при котором управляющее воздействие будет определяться температурным состоянием камеры коксования, попавшей в наихудшие условия.

В том случае, если рассчитанная температура по всей печи $U_{печи} > \bar{U}$, (\bar{U} — технологическое ограничение по условиям эксплуатации коксовой батареи), оператор получает данные о предполагаемом времени выполнения условия (6) при $U = \bar{U}$ и в соответствии с этим принимает решение о корректировке плана-графика выдачи кокса из камер батареи.

Выводы.

Предложена компьютерная система управления процессом коксования угля. Описаны основные подсистемы - информационная и подсистема управления температурным режимом коксования. Математическая модель процесса использована для оперативного прогноза температурного состояния и синтеза алгоритмов управления.

Литература

1. Ершов Н.А., Никитин Н.Н., Лавров К.Г., Горенбух М.А. Опыт внедрения и эксплуатации автоматизированной системы управления технологическим процессом коксования // Кокс и химия, №2, 2001. — С.42–24.
2. Регулирование обогрева коксовых печей на коксовой батарее завода в Бернс Харбор (США). Реферат Г.С. Ухмылова. Кокс и химия. — М.: 1992. — №3. — С. 50–51.
3. Ткаченко В.Н. Автоматизированное управление температурным режимом коксовой батареи // Автоматизация виробничих процесів, Всеукраїнський науково-технічний журнал. — Київ, 1997. — С.77–84.
4. Казмина В.В., Никитина Т.Е. Тепловые процессы коксования. — М.: Металлургия, 1987. — 185с.
5. Ткаченко В.Н. Тепловой эксперимент и идентификация параметров теплообмена процесса коксования угля // Идентификация и моделирование управляющих систем. — Киев: Наукова думка, 1997. — С. 93–98.

Сдано в редакцию:

Рекомендовано к печати: д.т.н., проф. Бессараб В.И.