

УДК 681.5.08

**Е.М. Томилин (инж.), Н.И. Чичикало (д-р техн. наук, проф.),
Н.Г. Винниченко (канд. техн. наук, доц.)**

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк
кафедра электронной техники

E-mail: chichikalo@rambler.ru, tommi-lin@mail.ru.

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР ПО СЕЧЕНИЮ КОКСОВОГО ПИРОГА

В статье выполнено математическое описание теплотехнических зависимостей печестроительных материалов и спекаемой шихты от температуры. Промоделирован процесс нагрева нагревательных простенков и угольной шихты. Предложен пример реализации системы контроля температур коксового пирога.

Ключевые слова: теплоемкость теплопроводность, метод конечных разностей, LabVIEW.

Общая постановка проблемы

На сегодняшний день основными отраслями Украинской металлургии являются чёрная и цветная металлургия, коксохимия, трубопрокатное производство. При этом общемировая потребность в стали растет из года в год. На фоне этих тенденций повышение эффективности получения коксового пирога является актуальным.

До недавнего времени контроль процесса коксования шихты в коксовой камере осуществлялся преимущественно периодическим измерением температур в нескольких контрольных точках. Сейчас, благодаря современным средствам вычислительной техники, возможен контроль и прогнозирование процессов прогрева и спекания шихты по всему объему коксовой камеры без непосредственного замера температур в загрузке.

Постановка задач исследования

Для моделирования процесса прогрева шихты в коксовой камере необходимо решить следующие задачи:

- 1) Описать математически зависимости коэффициентов теплопроводности и теплоемкости нагреваемых материалов от температуры.
- 2) Промоделировать процесс нагрева шихты с учетом установленных зависимостей.
- 3) Разработать систему определения распределения температур по сечению спекаемой шихты.

Решение задач и результаты исследований

Табличные зависимости теплофизических характеристик печестроительных материалов приведены в [1].

Выразим математическую зависимость удельной теплоемкости динаса от температуры при помощи степенного полинома третьей степени: $cdin(t) = \sum_{n=0}^3 (A1cd_n \cdot t^n)$. Результат изображен на рис. 1.

Коэффициент теплопроводности динаса описывается линейной зависимостью вида: $\lambda din(t) = 1,16(0,8 + 0,0006t)$.

Пример математического описания зависимости теплоемкости спекаемой шихты от температуры приведен в [2]. Тогда опишем математически зависимость теплофизических

параметров шихты от температуры. Уравнение теплоемкости выразим двумя полиномами третьей степени: $csh(t) = \sum_{n=0}^3 (As1_n \cdot t^n)$, при $t \leq 600$ °C; $csh(t) = \sum_{n=0}^3 (As2_n \cdot t^n)$, при $t > 600$ °C [2].

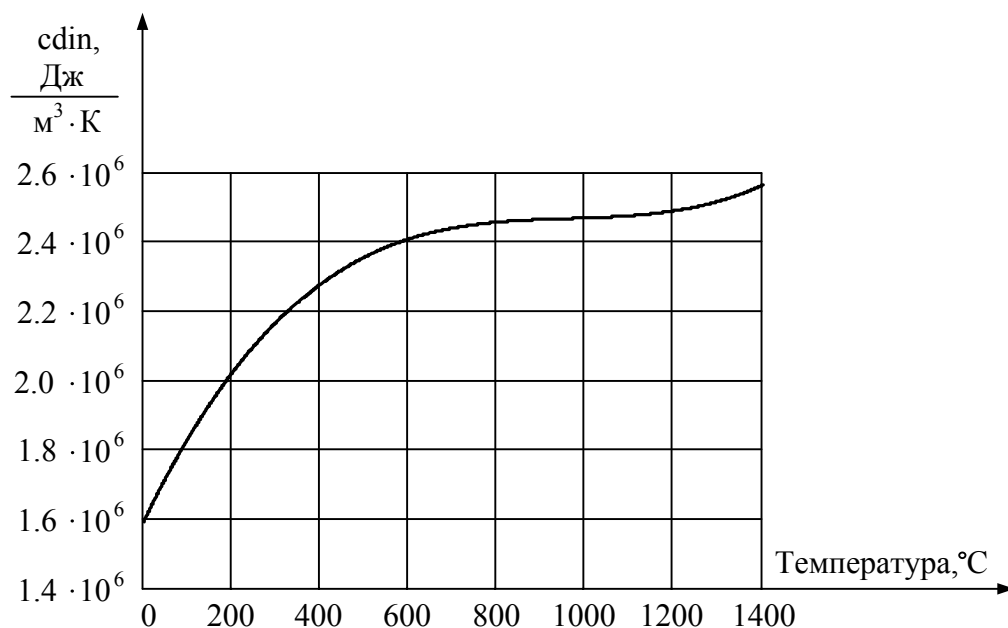


Рисунок 1 — Зависимость коэффициента теплоемкости динаса от температуры

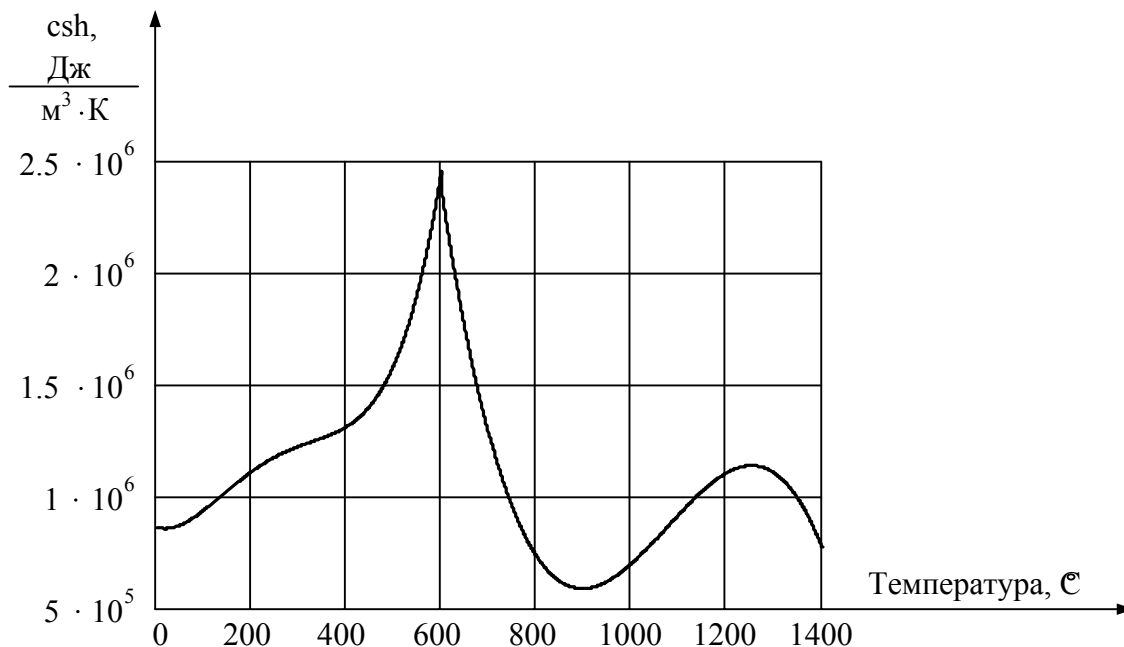


Рисунок 2 — Зависимость коэффициента теплоемкости шихты от температуры

Уравнение теплопроводности шихты выразим полиномом второй степени:

$$\lambda sh(t) = \sum_{n=0}^2 (A1\lambda_n \cdot t^n).$$

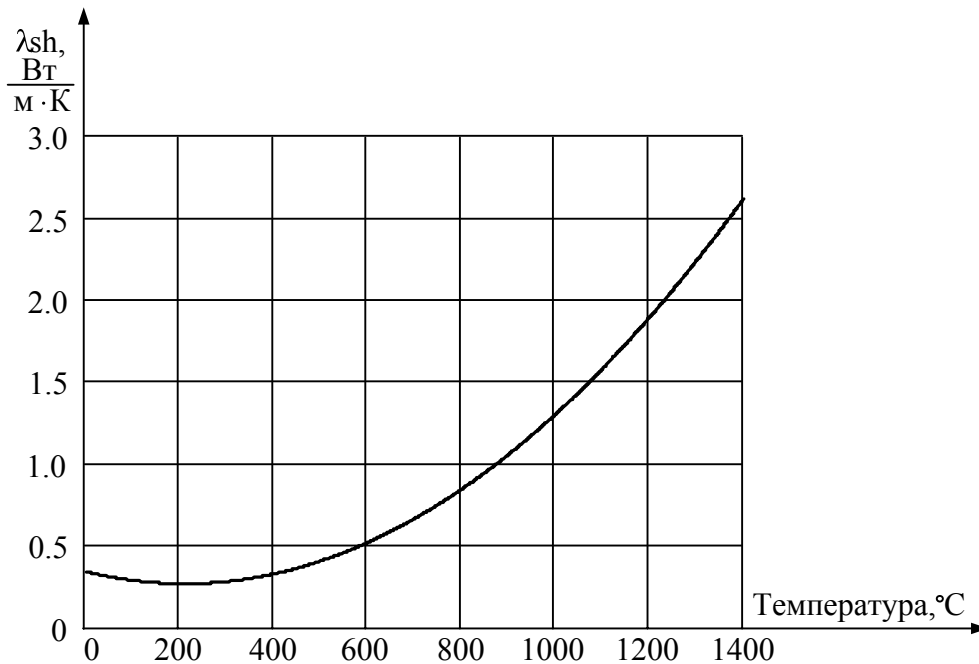


Рисунок 3 — Зависимость коэффициента теплопроводности шихты от температуры

Промоделируем процесс нагрева шихты с учетом установленных зависимостей. Для этого воспользуемся известным уравнением теплопроводности: $c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right)$, $0 < y < \delta$, где c — коэффициент удельной объемной теплоемкости, Дж/(м³·К); λ — коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С), δ — половина толщины общего слоя динаса и шихты.

Для решения уравнения применим метод конечных разностей, описанный в [3].

Нагрев считаем симметричным. В качестве граничных условий используем условия первого рода, когда задано распределение значений температур T_0 на поверхности простенков: $T_{k+1,n+1} = 1200$.

Начальными условиями примем значение температуры загружаемой шихты, равное 20 °С.

Значения температур в слоях шихты и динаса определяются по следующим формулам: для центра слоя шихты $T_{k+1,1} = [1 - 2fsh(T_{k,1})] \cdot T_{k,1} + 2fsh(T_{k,2}) \cdot T_{k,2}$; для промежуточного слоя шихты $T_{k+1,i} = fsh(T_{k,i-1}) \cdot T_{k,i-1} + [1 - 2fsh(T_{k,i})] \cdot T_{k,i} + fsh(T_{k,i+1}) \cdot T_{k,i+1}$, $i \leq 11$; для промежуточного слоя динаса $T_{k+1,i} = fdin(T_{k,i-1}) \cdot T_{k,i-1} + [1 - 2fdin(T_{k,i})] \cdot T_{k,i} + fdin(T_{k,i+1}) \cdot T_{k,i+1}$, $i > 11$, где $fdin(t) = \frac{\lambda din(t) \cdot \Delta t}{cdin(t) \cdot \Delta y^2}$, $fsh(t) = \frac{\lambda sh(t) \cdot \Delta t}{csh(t) \cdot \Delta y^2}$ — переменные, используемые для проверки

выполнения второго начала термодинамики при моделировании прогрева динаса и шихты соответственно. При этом $fdin(t) < 0,5$ и $fsh(t) < 0,5$. $csh(t)$ и $cdin(t)$ — зависимость коэффициента теплоемкости шихты и динаса от температуры, Дж/(м³·°С), $\lambda sh(t)$ и $\lambda din(t)$ — зависимость коэффициента теплопроводности шихты и динаса от температуры, Вт/(м·°С), Δt — шаг по времени, с; Δy — шаг по координате, м; i — координата, k — время.

Зададим параметры модели: примем шаг по времени Δt равным 15 с, шаг по координате Δy равным 0,020 м. Простенок коксовой батареи состоит из динасового кирпича с плотностью 2040 кг/м³. Примем его толщину равной 0,140 м.

Вычислим значения коэффициентов $fdin(t)$ и $fsh(t)$. Результаты вычисления представлены на рис. 4. Как видно из рисунка, при выбранных значениях шага по времени и координате оба коэффициента не превышают значения 0,5 на всем промежутке температур.

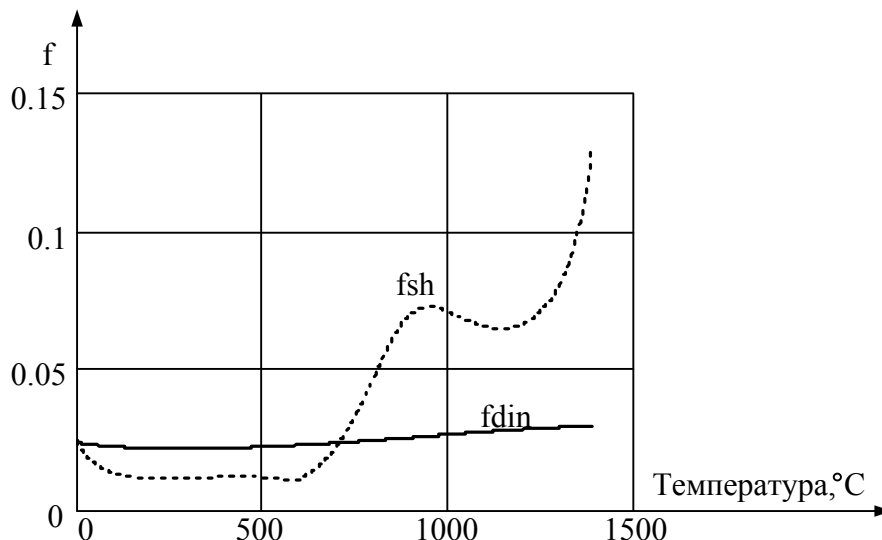


Рисунок 4 — Проверка выполнения второго начала термодинамики

Результаты моделирования прогрева представлены на рис. 5. Из рисунка видно, что по достижении шихты температур порядка 400 °С происходит её дальнейший резкий скачок в сторону увеличения, что связано с фазовыми превращениями и увеличением теплопроводности более чем в пять раз. Однако данная модель не учитывает изменение влагосодержания и насыпной плотности в процессе коксования.

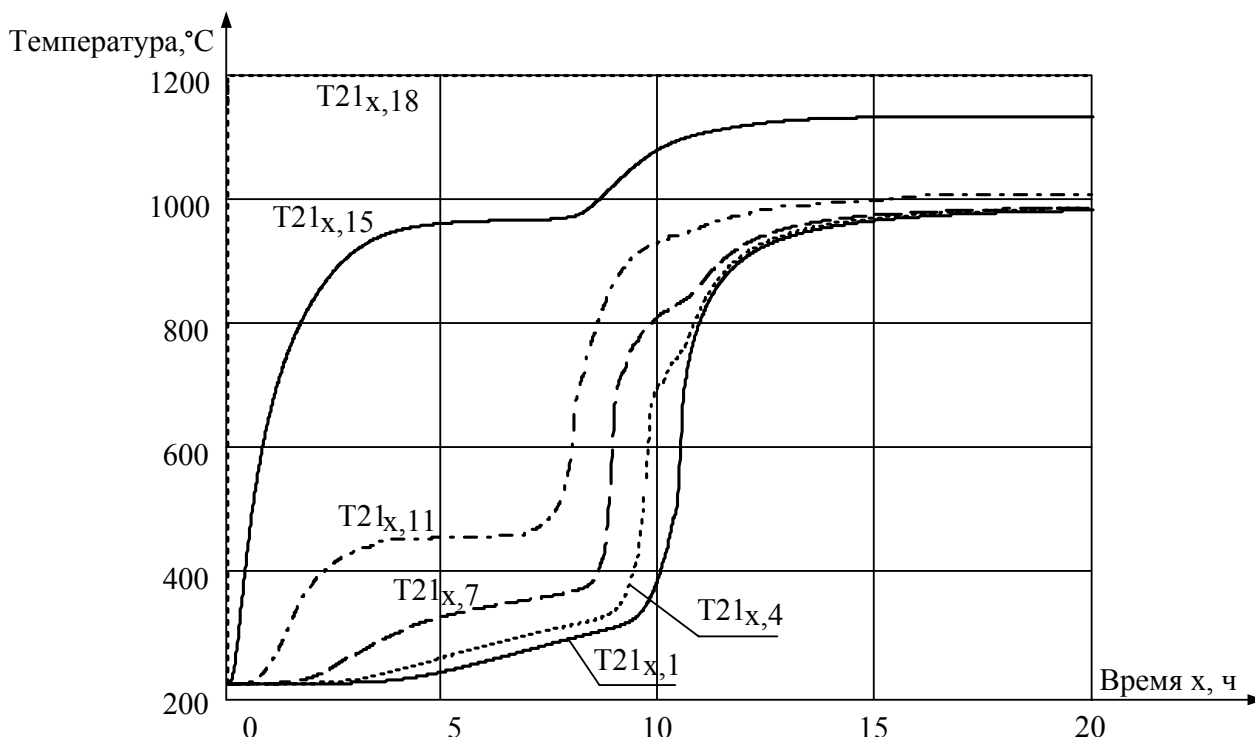


Рисунок 5 — Распределение температур по сечению простенки и шихты

Температура в загрузке и простенках непрерывно измеряется платинородиево-платиновыми и хромель-алюмелевыми термопарами. В зависимости от задач исследования, в

загрузку можно устанавливать термопары по ширине камеры — для этого предусмотрены отверстия в задней стенке печи и устройство для фиксирования термопар [4].

Разрабатываем ИИС, базирующуюся на автоматизированных технологиях выполнения научных исследований и виртуального проектирования в инженерно-вычислительном комплексе LabVIEW. Программа непрерывно осуществляет определение температур простенков батареи с последующим определением распределения температур по сечению коксового пирога.

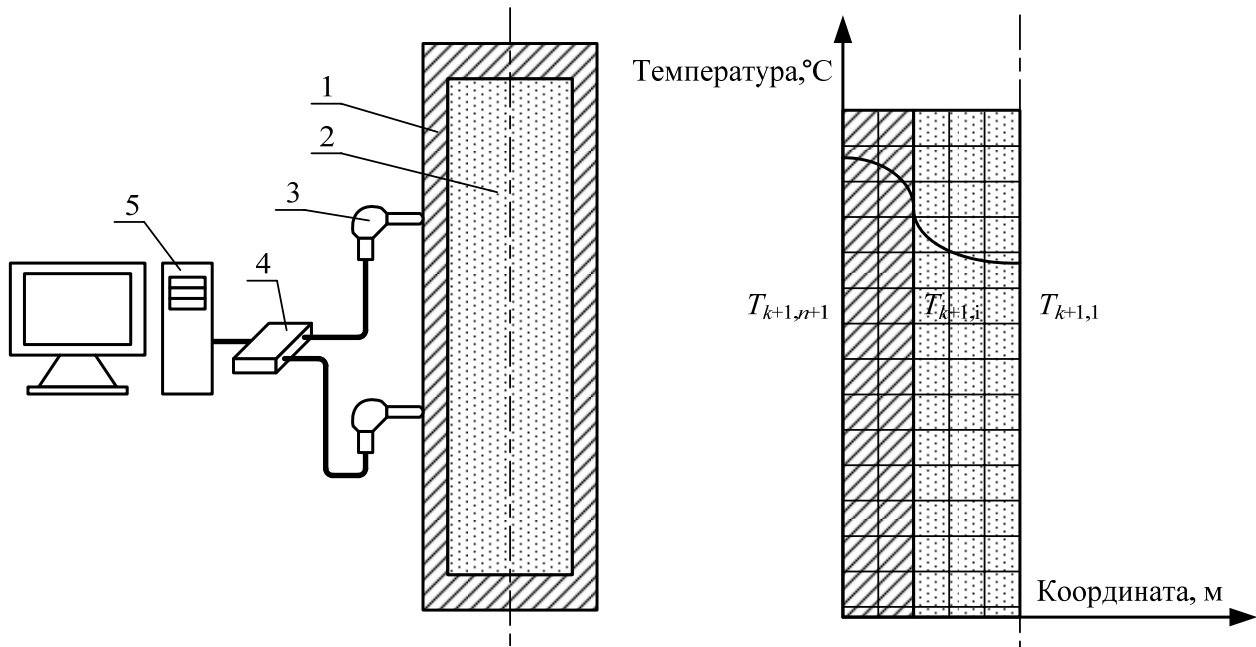


Рисунок 6 — Система определения распределения температур по сечению коксового пирога

На рис. 6 изображены: 1 — простенка из динаса; 2 — слой шихты; 3 — датчик температуры; 4 — модуль сбора данных; 5 — промышленный компьютер.

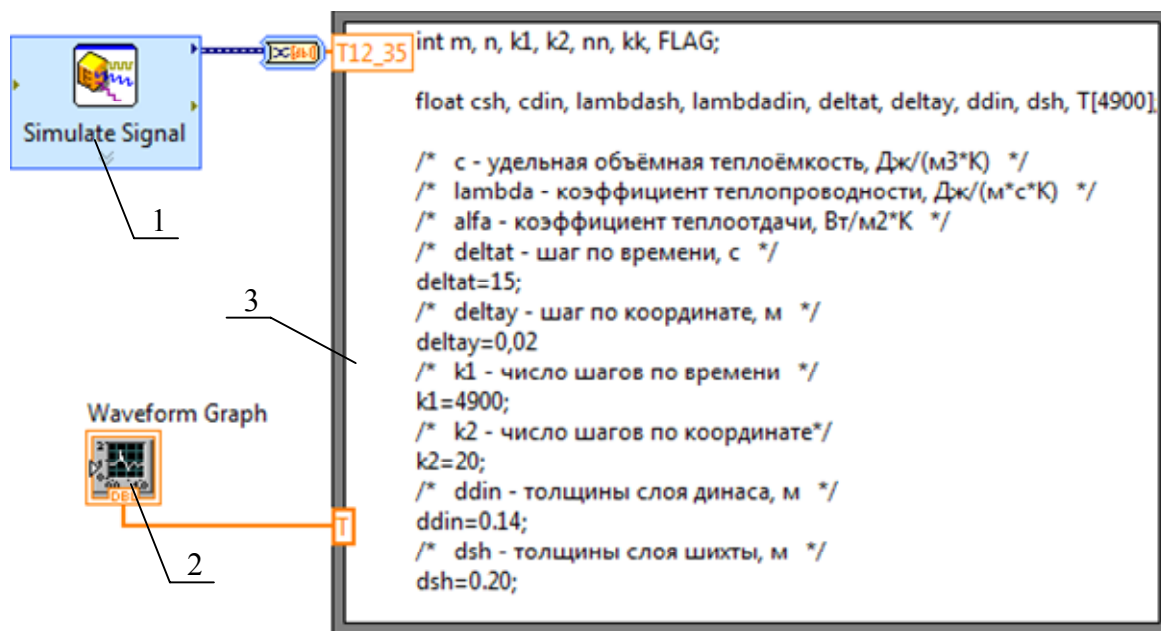


Рисунок 7 — Реализация модели в пакете LabVIEW

Здесь 1 — модуль, используемый для имитации подачи сигнала с внешнего модуля сбора данных; 2 — модуль вывода графической информации, используемый для мониторинга температуры; 3 — основной модуль определения распределения температур по сечению спекаемой шихты.

Выводы

1. Теплофизические зависимости пещистроительных материалов и шихты от температуры имеют существенно нелинейный характер.
2. При прогреве шихты её температура меняется скачкообразно, что объясняется фазовыми превращениями углерода.
3. Построение системы контроля распределения температур по сечению коксового пирога можно выполнять на базе промышленного компьютера и пакета LabVIEW.

Список использованной литературы

1. Основные свойства огнеупорных материалов [Электронный ресурс]. — Режим доступа к ресурсу: <http://www.markmet.ru/ogneupornie-materialy/osnovnye-svoistva-ogneupornykh-materialov>. — Дата доступа: 29.01.2012. — Название с экрана.
2. Пьянков М.В. Повышение точности материального расчета процесса коксования / М.В. Пьянков, И.И. Швец // Сборник тезисов. — К.: КПИ, 2006. — С. 143. [Электронный ресурс]. — Режим доступа к ресурсу: <http://masters.donntu.edu.ua/2006/feht/piankov/library/art7.htm>. — Дата доступа: 29.01.2012. — Название с экрана.
3. Арутюнов В.А. Математическое моделирование тепловой работы промышленных печей / В.А. Арутюнов, В.В. Бухмиров, С.А. Крупенников. — М.: Металлургия, 1990. — 241 с.
4. Отопительная простенка [Электронный ресурс]. — Режим доступа к ресурсу: http://www.ai08.org/index.php/term/_9da4ab975b546c395b9c3ba39a8d61988dac9f39ae6c59a86e3daa98418d6c395b9c3cad9a8d609853aa9f39af6c8fa86e3dab98a7606c395b9c3c349a8d61988da99f39af6c8fac649c3ea49a5960988fb19f33416c8da56e3f3f983b616c335d9c3ea59a8f61988fb09fadaf6c8da46ea93d9a9a8d61988aaf9f39af6c8f386e3daa98418e663c8238a069a2595da766526e5e6fa89d58a7945585466b064659d526d695aa3a654.shtml — Дата доступа: 29.01.2012. — Название с экрана.

Надійшла до редакції:
30.01.2012р.

Рецензент:
д-р техн. наук, проф.
Скобцов Ю.О.

E.M. Tomilin, N.I. Chichikalo, N.G. Vinnichenko. Temperature System Estimation of the Coke Mass Cross-Section Allocation. Mathematical formulation of the temperature heat engineering dependence for coke-oven battery building materials was made in the article. Heating wall and coal charge heating processes were modeled. Coke mass temperatures control system was proposed. Keywords: heat capacity, thermal conductivity, finite difference method, LabVIEW.

Є.М. Томілін, Н.І. Чичикало, М.Г. Винниченко. Система визначення розподілу температур по перерізу коксового пирога. У статті виконано математичний опис теплотехнічних залежностей пічбудівельних матеріалів и шихти від температури. Промодельовано процес нагріву простіноків та вугільної шихти. Запропоновано приклад реалізації системи контролю температур коксового пирога.

Ключові слова: теплоємність, теплопровідність, метод кінцевих різниць, LabVIEW.