Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

В. В. Копцев, А. В. Копцев, Математическая модель нагрева гранулированной среды, *Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки*, 2005, выпуск 38, 128–131

DOI: <https://doi.org/10.14498/vsgtu386>

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 54.197.130.99

26 апреля 2023 г., 10:53:43

Подставляя в (59) выражения для изображений температурных полей $\overline{\theta}_{12}(x, n, p)$ и $\overline{T}_2(x, n, p)$ в точках с координатами $x = x_l$ и $x = 1$, решая (59) относительно $C_4(n, p)$, $C_5(n, p)$, $C_6(n, p)$ и переходя в область оригиналов для косинус-преобразований Фурье, увидим, что при отсутствии внутренних теплоисточников изображения по Лапласу $\overline{\theta}_{12}(x, l, p)$ и $\overline{T}_2(x, l, p)$ равны нулю.

Таким образом, в выражениях (18) и (19) для составляющих $\overline{\theta}_{11}(x, p)$ и $\overline{\theta}_{21}(x, p)$ представлено температурное распределение для проводника и кабельной изоляции соответственно. Полученные результаты позволяют построить структурную модель процесса формирования температурного поля при охлаждении изолированной кабельной жилы при ее изготовлении на экструзионной линии как объекта управления с распределенными параметрами для последующего синтеза системы управления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИ СПИСОК

1. Laurich K., Muller G., Wallau H. Automatisierungssystem für kabelummantelungsanlagen // Mess. – Steuern – Regeln, 1979. В. 22. N/ 7. S. 370–374.
2. Митрошин В. Н. Математическое моделирование процессов теплопереноса при охлаждении экструдированной кабельной жилы с учетом фазовых превращений полимерной изоляции // Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер.: Техн. науки, 2005. № 32. С. 184–188.
3. Карпашов Э. М. Аналитические методы в теории теплопроводности твердых тел. М.: Высш. шк., 2001. 550 с.
4. Диткин В. А., Прудников А. П. Интегральные преобразования и операционное исчисление. М.: Высш. шк., 1966. 456 с.
5. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука, 1974. 832 с.
6. Корнев Б. Г. Введение в теорию бесселевых функций. М.: Наука, 1971. 287 с.

Поступила 8.07.2005 г.
После переработки 20.09.2005 г.

УДК 66.046.4.001.57

В. В. Концев, А. В. Концев

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НАГРЕВА ГРАНУЛИРОВАННОЙ СРЕДЫ

Предложена математическая модель нагрева при технологическом процессе получения металлургической извести, которая моделируется гранулированной средой, элементами системы которой являются сферы. Вводится кусочно-постоянная аппроксимация коэффициента теплопроводности. Задача решена численно. Наблюдается хорошее согласование с результатами экспериментов.

Для ведения технологического процесса при получении металлургической извести во вращающихся печах необходима достоверная информация о протекании обжига материала. В первую очередь требуются данные о протекании процессов сушки, дегидратации и декарбонизации $MgCO_3$ и $CaCO_3$, которые в итоге определяют основной показатель качества производимой извести – потери материала при прокаливании (ПМП). Эта задача может быть решена с помощью модели нагрева известняка, предлагаемой автором, которая отличается от существующих (например [1]) тем, что обрабатываемый материал рассматривается не как слой, представляющий термически тонкое тело, а как слой, состоящий из частиц сферической формы различного фракционного состава.

При создании модели вся длина вращающейся печи разбивается на N_1 зон малой протяженности (длина каждой зоны равна 1 м). Для каждой зоны рассчитываются скорости движения обрабатываемого материала и газового потока, их температуры и коэффициенты теплообмена. При этом температура материала определяется как среднемассовая температура системы, состоящей из сфер различных радиусов, размеры которых соответствуют размерам частиц фракции известняка (см. таблицу).

Фракционный состав известняка, обрабатываемого во вращающихся печах

Фракция, мм	>32	>25	>20	>15	0-15	>40	>50
Доля, %	17,4	41,5	27	13,2	0,9	0	0

Распределение температур по радиусу частицы материала рассчитывается, используя одномерное уравнение теплопроводности для сферы, при допущении независимости характера теплообмена от направления:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{1}{C(T)\rho(T)} \left\{ \frac{\partial}{\partial r} \left[\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial r} \right] + \frac{2}{r} \lambda(T) \frac{\partial T}{\partial r} \right\} + \frac{Q}{C(T)\rho(T)}, \quad (1)$$

где r — радиус частицы обрабатываемого материала, м; T — температура, К; $\rho(T)$ — плотность обрабатываемого материала, зависящая от температуры, кг/м³; $C(T)$ — теплоемкость обрабатываемого материала, $C(T) = a + bT + cT^2$ [2], Дж/(кг·К); $\lambda(T)$ — теплопроводность обрабатываемого материала, Вт/(м·К); Q — объемная плотность внутренних источников теплоты, в данном случае теплоты парообразования при сушке и дегидратации (или декарбонизации MgCO_3 , или декарбонизации CaCO_3), $Q < 0$.

Необходимо отметить, что коэффициент теплопроводности извести, образующейся на поверхности обжигаемого известняка, в 2–3 раза ниже, чем у исходного известняка [3], поэтому в модели предусмотрен механизм переключения значения коэффициента теплопроводности при достижении температуры 1200 °С, принятой за температуру окончания процесса декарбонизации.

Решение уравнения (1) определено при следующих условиях:

- 1) $0 < r < R_\phi$, где R_ϕ — радиус частицы обрабатываемого материала, принадлежащий одной из фракций;
- 2) при $r = 0$

$$\left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r=0} = 0; \quad (2)$$

- 3) при $r = R_\phi$

$$\lambda(T) \left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r=R_\phi} = -\alpha_\Sigma (T_{cp} - T_{нов}), \quad (3)$$

где α_Σ — суммарный коэффициент, учитывающий радиационный и конвективный теплообмен; T_{cp} — температура газового потока у поверхности обрабатываемого материала; $T_{нов}$ — температура поверхности сферической частицы;

- 4) начальное распределение температур по радиусу сферы в данной зоне определяется распределением температур по радиусу сферы в конце предыдущей зоны.

Обрабатываемый материал при перемещении через вращающуюся печь интенсивно перемешивается, поэтому справедливо использовать усредненные коэффициенты теплообмена при расчете нагрева отдельных частиц.

Разностная аппроксимация уравнения (1) и граничных условий (2)–(4) приводится в форме неявной разностной схемы трехдиагонального вида и решается методом прогонки (количество узлов по радиусу равно N_2).

В рамках модели для расчета количества выделившейся влаги в пределах каждой i -той зоны определяется доля обрабатываемого материала, прогретого выше 100 °С k_{100}^i . При распределении температур, рассчитанному по алгоритму данной математической модели (см. рисунок) при шаге разбиения по радиусу, равном 1 мм, для длительности нагрева 50 с имеем $k_{100} = 2$; для длительности нагрева 70 с — $k_{100} = 4$, для длительности нагрева 100 с — $k_{100} = 8$. Таким образом, определяется доля материала, подвергнувшегося сушке в процессе обжига.

Распределение температур по радиусу сферической частицы

Аналогичным образом для расчета объема декарбонизированного MgCO_3 определяется индекс k_{700}^i и для определения объема декарбонизированного CaCO_3 — индексы k_{800}^i и k_{1200}^i . Температура 100 °C соответствует температуре начала выделения паров воды, 700 °C — температуре начала декарбонизации MgCO_3 , 800 °C — температуре начала декарбонизации CaCO_3 , 1200 °C — температуре завершения процесса декарбонизации [3].

Величины индексов k_{100}^i , k_{700}^i и k_{800}^i служат для определения полезно затраченного тепла на нагрев одной сферической частицы обрабатываемого материала в i -той зоне:

$$Q_i^{\text{пол}} = Q_i^{\text{нагр}} + Q_i^{\text{пар H}_2\text{O}} + Q_i^{\text{дис. MgCO}_3} + Q_i^{\text{дис. CaCO}_3},$$

где $Q_i^{\text{нагр}}$ — тепло, затраченное на нагрев одной частицы во время нахождения обрабатываемого материала в i -той зоне:

$$Q_i^{\text{нагр}} = \frac{4\pi}{3} \sum_{n=1}^{N_2} (r_n^3 - r_{n-1}^3) (T_{n_i} - T_{n_{i-1}}) c \left(\frac{T_{n_i} - T_{n_{i-1}}}{2} \right),$$

n — целочисленная переменная, изменяющаяся от 0 (центр сферической частицы) до N_2 (поверхность частицы); $Q_i^{\text{пар H}_2\text{O}}$, $Q_i^{\text{дис. MgCO}_3}$, $Q_i^{\text{дис. CaCO}_3}$ — тепло, затраченное на парообразование, декарбонизацию MgCO_3 и CaCO_3 , соответственно:

$$Q_i^{\text{пар H}_2\text{O}} = \frac{4\pi}{3} \sum_{n=n_{100}^{i-1}}^{n=n_{100}^i} (r_n^3 - r_{n-1}^3) (T_{n_i} - T_{n_{i-1}}) \rho(T_n) W q_{\text{H}_2\text{O}};$$

$$Q_i^{\text{дис. MgCO}_3} = \frac{4\pi}{3} \sum_{n=n_{700}^{i-1}}^{n=n_{700}^i} (r_n^3 - r_{n-1}^3) (T_{n_i} - T_{n_{i-1}}) \rho(T_n) \beta_{\text{MgCO}_3} q_{\text{MgCO}_3};$$

β_{MgCO_3} — содержание MgCO_3 в известняке, %;

$$Q_i^{\text{дис. CaCO}_3} = \frac{4\pi}{3} \sum_{n=n_{800}^{i-1}}^{n=n_{800}^i} (r_n^3 - r_{n-1}^3) (T_{n_i} - T_{n_{i-1}}) \rho(T_n) \beta_{\text{CaCO}_3} q_{\text{CaCO}_3};$$

где β_{MgCO_3} — содержание MgCO_3 в известняке, %; β_{CaCO_3} — содержание CaCO_3 в известняке, %; $q_{\text{H}_2\text{O}}$, q_{MgCO_3} , q_{CaCO_3} — удельные теплоты парообразования, декарбонизации MgCO_3 , декарбонизации CaCO_3 , соответственно.

Рассчитанная величина $Q_i^{\text{пол}}$ используется при составлении теплового баланса для зоны. Это позволяет определить температуры теплоносителя и обрабатываемого материала на выходе из зоны и получать информацию о распределении температур по длине печи. Тем самым появляется возможность управлять тепловой нагрузкой печи.

Величина индекса k_{1200}^i определяет величину непрокаленной доли материала. Объем непрокаленной доли сферической частицы равен

$$V_{\text{непр}} = \frac{4\pi}{3} \sum_{n=0}^{n=n_{1200}^i} (r_n^3 - r_{n-1}^3).$$

Тогда величину ПМПП можно оценить выражением

$$V_{непр} / V_{сф} ,$$

где $V_{сф} = \frac{4\pi R_{\phi}^3}{3}$ — объем сферической частицы.

Полученные результаты хорошо согласуются с результатами экспериментов, проведенными на вращающейся печи Известняково-доломитового производства ОАО ММК.

Таким образом, предложенная модель позволяет определять величину непрокаленной части обрабатываемого материала и тем самым определять величину потерь материала при прокаливании ПМПП — основного параметра качества металлургической извести, характеризующего эффективность ведения технологического процесса обжига.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Арутюнов В. А., Бухмиров В. В., Крупенников С. А. Математическое моделирование тепловой работы промышленных печей: Учебник для вузов. М.: Металлургия, 1990. 239 с.
2. Кузнецова Т. В. и др. Физическая химия вяжущих материалов. М.: Высш. шк., 1989. 384 с.
3. Монастырев А. В. Производство извести. М.: Из-во лит-ры по стр-ву, 1972. 207 с.

Поступила 5.09.2005 г.

УДК 621.982

С. Ю. Ганигин

ОПТИМИЗАЦИЯ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА ВОДОТОПЛИВНОЙ ЭМУЛЬСИИ И ДИНАМИКА СИСТЕМ ПОДГОТОВКИ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

Рассматриваются вопросы построения систем оптимизации компонентного состава водотопливной эмульсии (ВТЭ) по показателям функционирования дизельных энергетических установок. Приводятся критерии оптимизации по статическим характеристикам. Предложена динамическая модель диспергатора и даются рекомендации к построению контура стабилизации концентрации воды в ВТЭ.

В состав топливной аппаратуры многих дизельных установок в промышленности и на транспорте входят системы подготовки водотопливной эмульсии (ВТЭ). Большинство из них поддерживает фиксированный, априорно определенный состав ВТЭ, который считается наилучшим по экономическим показателям сгорания топлива. Однако такие системы обладают рядом недостатков. Основным из них является несоответствие фиксированного состава ВТЭ наилучшему по экологическим показателям. В силу ряда физико-химических особенностей сгорания ВТЭ оптимальные концентрации воды для экономических и экологических показателей отличаются. Отличаются они и для различных токсичных компонент продуктов сгорания. Другим недостатком является отсутствие учета влияния на показатели сгорания режимов работы энергетической установки и изменение ее параметров во время функционирования и за весь период эксплуатации.

Указанные недостатки можно устранить в системах непрерывного действия, оптимизируя компонентный состав ВТЭ в процессе функционирования энергетической установки. Структура такой системы управления показана на рис. 1.

В состав системы управления входит контур определения оптимального состава ВТЭ (верхний уровень управления); контур стабилизации состава ВТЭ (нижний уровень управления), устройство подготовки ВТЭ; дозатор, регулирующий подачу воды. В данном случае в качестве объекта управления рассматривается дизельный двигатель.

Оптимальный состав эмульсии определяется по результатам наблюдения функционирования двигателя (наблюдаемые величины — частота вращения, концентрации токсичных компонент в ОГ, фактическая концентрация воды в ВТЭ). Данные о функционировании двигателя подвергаются статистической обработке, на основе которой по критериям оптимизации определяется оптимальный состав эмульсии. Найденное значение концентрации воды поступает далее в контур стабилизации в качестве требуемой выходной величины. В контуре стабилизации формируются управляющие воздействия, которые поступают на дозатор с целью стабилизации фактической концентрации на уровне требуемой за минимальное время.