

Перечень ссылок

1. Патент № 2003544 на изобретение, Россия, Устройство для считывания формируемой на подвижных объектах железнодорожного транспорта информации / Зайцев В.С. / Бюл. № 43-44, – М., 30.11.1993.

УДК 519.876.2

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОСТЕЛИ МАТЕРИАЛА ПНЕВМОВИБРАЦИОННОГО СЕПАРАТОРА

Логинов В.А., магистр; Гавриленко Б.В., доцент, PhD

(Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, Украина)

Значительное повышение эффективности работы пневмовибрационного сепаратора возможно лишь при создании системы управления, в структуру которой будут заложены закономерности поведения обогащаемого материала под влиянием управляющих воздействий, таких как параметры воздушного режима и вибраций деки [1]. Для установления данных закономерностей необходимо построить модель, позволяющую с необходимой степенью детализации исследовать происходящие в слое материала изменения. При этом для точного вычисления разрыхленности постели материала, а также адекватного моделирования поведения постели в целом в зависимости от влияющих на неё воздействий, моделирование должно производиться на уровне отдельных частиц. Очевидно, что эмпирические методы не позволят производить исследование подобного масштаба. В международной практике существуют различные техники, позволяющие моделировать поведения псевдооживленных слоев с различной степенью детализации [3]. Целью данной работы является анализ существующих методов моделирования и выбор наиболее подходящего для исследования процесса обогащения на сепараторе. Существующие модели могут быть классифицированы по признаку применения Лагранжевого либо Эйлера способа описания твёрдой и жидкой фазы. При этом каждая из моделей находит своё применение для исследования процесса определенного масштаба (от исследований в молекулярной динамике до больших промышленных установок). Типы моделей приведены в табл. 1.

Таблица 1 — Классификация моделей

	Тип модели	Газовая фаза	Твёрдая фаза	Масштаб
1	Дискретных пузырей	Лагранж	Эйлер	10 м
2	Двухжидкостная	Эйлер	Эйлер	1 м
3	Дискретных частиц (неразреш.)	Эйлер (неразреш.)	Лагранж	0.1 м
4	Дискретных частиц (разреш.)	Эйлер (разреш.)	Лагранж	0.01 м
5	Молекулярная динамика	Лагранж	Лагранж	< 0.01 м

В модели типа «Эйлер-Эйлер», называемой также двухжидкостной (TFM, *two-fluid model*), газовая и твердая фазы моделируются как сплошные среды, а их динамика просчитывается при помощи конечно-разностных методов [4]. Взаимодействие между фазами находится из корреляций сил аэродинамического сопротивления. Необходимо также определить отношение давления и вязкости для твёрдой фазы. Недостатком данного метода является неадекватное моделирование взаимодействия частиц между собой и с газовой фазой.

Недостаток предыдущего типа моделей учтен в моделях типа «Эйлер-Лагранж», называемых также моделями дискретных частиц (DPMs, *discrete particle models*). В моделях такого типа твёрдая фаза представлена совокупностью дискретных частиц, как и в моделях типа «Лагранж-Лагранж», однако, взаимодействие частиц с газом описывается иначе. При этом существует два основных класса подобных моделей: разрешенные и неразрешенные. В неразрешенных DPM моделях (*unresolved DPMs*), называемых часто моделями дискретных элементов, размер Эйлеровой решетки на порядок больше размеров частиц. В разрешенных DPM моделях (*resolved DPMs*), называемых также моделями прямого численного моделирования, размер Эйлеровой решетки на порядок меньше размеров частиц, а значит, поток между частицами также моделируется. Взаимодействие частиц с газом определяется граничными условиями на поверхности частиц. При этом взаимодействие частиц между собой и с газовой фазой моделируются реалистично.

Таким образом, наиболее подходящим методом моделирования постели материала при его обогащении на пневмовибрационном сепараторе является метод прямого численного моделирования.

Газовая фаза, согласно данному методу, рассматривается как непрерывная среда, характеризующаяся локальной плотностью массы $\rho(\mathbf{r}, t)$ и локальной плотностью момента $\mathbf{j}(\mathbf{r}, t)$. Локальная скорость потока $\mathbf{u}(\mathbf{r}, t)$ определяется выражением $\mathbf{j} = \rho \cdot \mathbf{u}$. Основными уравнениями здесь являются законы сохранения для массы и момента:

$$\begin{aligned} \partial_t \rho + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) &= 0, \\ \partial_t (\rho \mathbf{u}) + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u} \mathbf{u}) &= -\nabla p - \nabla \cdot \bar{\boldsymbol{\tau}} - \rho \mathbf{g} \end{aligned} \quad (1)$$

где \mathbf{g} – гравитационная постоянная;

p – гидростатическое давление;

$\bar{\boldsymbol{\tau}}$ – тензор напряженности, для определения которого может быть использована общая форма записи для Ньютонской жидкости:

$$\bar{\boldsymbol{\tau}} = -\left(\lambda - \frac{2}{3} \mu \right) (\nabla \cdot \mathbf{u}) \mathbf{I} + \mu (\nabla \mathbf{u} + (\nabla \mathbf{u})^T) \quad (2)$$

где λ и μ – соответственно, коэффициенты объемной и сдвиговой вязкости;

\mathbf{I} – единичный тензор.

Существует два основных класса методов численного решения уравнения (1), а именно: вычислительная динамика жидкости (CFD, *computational fluid dynamics*) и решетчатый метод Больцмана (LB, *lattice Boltzmann*).

Твёрдая фаза представлена совокупностью частиц, которые для упрощения представляются идеальными сферами. Движение частиц и их взаимодействие определяются законами Ньютона и вычисляются для коротких временных интервалов (на которых скорость частицы считается постоянной).

Взаимодействие фаз является ключевым моментом, так как необходимо смоделировать обтекание частиц твёрдой фазы воздушным потоком. Одним из способов решения данной задачи является метод, при котором определяются Лагранжевы точки сил, одинаково распределенные по поверхности сферы. Скорость \mathbf{W}_m каждой такой точки m вычисляется исходя из линейной и угловой скоростей сферы. Тогда взаимодействие фаз контролируется плотностью силы $\mathbf{f}_{s \rightarrow g}$, которую необходимо добавить в уравнение сохранения момента (1):

$$\partial_t (\rho_g \mathbf{u}_g) + \nabla \cdot (\rho_g \mathbf{u}_g \mathbf{u}_g) = -\nabla p_g - \nabla \cdot \bar{\boldsymbol{\tau}}_g - \rho_g \mathbf{g} + \mathbf{f}_{s \rightarrow g} \quad (3)$$

где подстрочный индекс g указывает на переменные газовой фазы. При дискретизации данного уравнения операции с плотностью силы производятся в явном виде.

Таким образом, поведение постели материала в целом и составляющих её частиц в частности при пневмовибрационном обогащении может быть смоделировано при помощи

численных методов. При этом наиболее подходящим является метод прямого численного моделирования, позволяющий детально отслеживать процессы, происходящие в слое материала.

Перечь ссылок

1. Автоматизация процесса обогащения углей на вибрационно–пневматическом сепараторе / Логинов В.А., Гавриленко Б.В / Автоматизация технологичних об'єктів та процесів. Пошук молодих. Збірник наукових праць. ІХ науково–технічної конференції аспірантів та студентів в м. Донецьку 20–22 травня 2009 р.– Донецьк, ДонНТУ, 2009. – 207 с. (с. 126–128)
2. M.A. van der Hoef, M. van Sint Annaland, N.G. Deen, J.A.M. Kuipers. 2008. Numerical Simulation of Dense Gas-Solid Fluidized Beds: A Multiscale Modeling Strategy

УДК 62-932.2

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ НАГРЕВА СЛЯБОВ В ПЕЧИ

Скоробогатова И.В., ассистент; Гавриленко Б.В., доцент, PhD

(Донецкий национальный технический университет, г. Донецьк, Украина)

Процесс нагрева слябов в методической нагревательной печи (МНП) проходит в многомерной инерционной системе, для которой характерна нестационарность параметров математической модели нагрева металла, вызванная наличием ряда марок сталей с соответствующими теплофизическими свойствами. Изменение температуры в рабочем пространстве МНП, и соответственно температуры, усваиваемой материалом сляба, связано с изменением расхода теплоносителя.

Процесс тепловой обработки слябов в МНП представляет собой стохастическую систему с распределенными параметрами. Задача идентификации системы с распределенными параметрами относится к классу обратных задач теплопроводности. Для решения задач, возникающих при разработке системы управления нагревом заготовки металла, используют имитационные математические модели процесса нагрева слябов в реальном времени. При построении модели процесса тепловой обработки материала в задачах стохастического управления используют локальную идентификацию [3].

Процесс нагрева заготовки металла можно представить в виде многомерного многосвязного процесса (рис. 1).

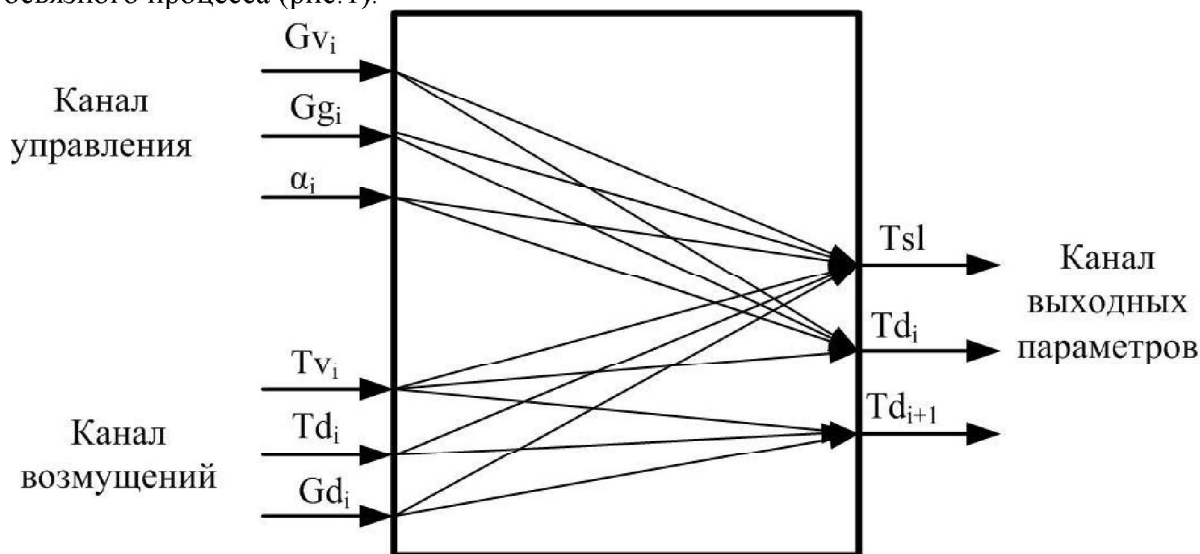


Рисунок 1 – Структурная схема МНП как объекта управления