

УДК 621.31

КОМПЬЮТЕРНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Маркин А.Д., профессор, д.т.н., Данильченко Т.А., магистрант
(Донецкий национальный технический университет,
г. Донецк, Украина)

Первичные измерители температуры и датчики тепловых потоков (ДТП) выдают некоторую исходную информацию о поле температур исследуемого объема и условиях его теплообмена с окружающей средой. Эта информация, как правило, носит неполный характер, предопределяя те параметры теплообмена, которые необходимо найти при обработке экспериментальных данных. В зависимости от степени исходной информативности и неизвестных параметров теплообмена формулируемые задачи можно разделить на несколько групп. В дальнейшем будем придерживаться укрупненной классификации, приведенной в работах Коздобы Л.А. [1] и Алифанова О.М. [2], понимая под прямыми задачами (ПЗ) - задачу определения температурного поля исследуемого объема по известным математической модели процесса и краевым условиям.

Следует отметить недостаточное исследование направления, связанного с разработкой методов диагностики, позволяющих их непосредственное использование при практической реализации теплотехнологических процессов в черной металлургии [3].

Это прежде всего относится:

- к разработке эффективных методов идентификации теплотехнологических процессов для неоднородных пространственных систем с переменными коэффициентами переноса в условиях сложного радиационно - конвективного теплообмена в промышленных печах;
- к разработке методов, средств контроля и управления теплотехнологическими процессами в “реальном” времени;
- к разработке методов алгоритмизации для ЭВМ нелинейных математических моделей теплообменных процессов, распространенных в черной металлургии и энергетике.

Будем понимать под тепловой диагностикой определенную совокупность операций, позволяющих определить необходимые параметры тепловых процессов, конструкций и их элементов и т.п. в режиме контроля или в режиме управления (поля температур, тепловые нагрузки, режимы работы теплообеспечивающих систем и др.) [3] - рис. 1.

Для решения локальных задач тепловой диагностики могут быть использованы различные методы: экспериментальные, теоретические или, в основном, носящие комплексный характер.



Рисунок 1 - Режим контроля и режим управления (в “реальном” времени).

Так, тепловая диагностика на этапе проектных работ может ограничиться математическим моделированием транспорта тепла в элементах конструкции с помощью ЭВМ. При конструктивной отработке агрегатов тепловая диагностика может включать как чисто экспериментальные методы (определение температур в характерных точках), так и математические методы обработки результатов эксперимента для восстановления поля температур (или тепловых нагрузок) в используемой конструкции.

Общую структуру математической модели тепломассообменных процессов можно представить в виде некоторой схемы (рис. 2).

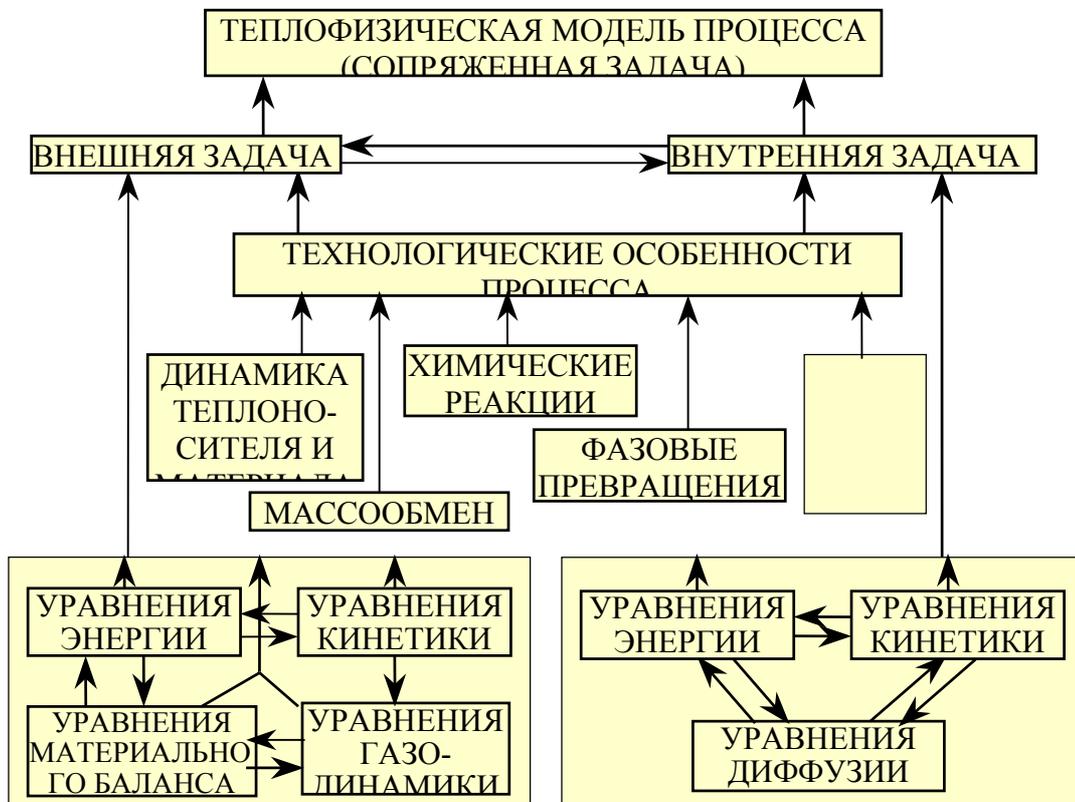


Рисунок 2 - Структура математической модели тепломассообмена в теплотехнологических процессах

Представляется перспективным применение идей Д. Сполдинга и С. Патанкара для унификации описания процессов теплообмена с помощью некоторого обобщенного уравнения. В этом случае становится возможной разработка единой процедуры алгоритмизации всей совокупности уравнений, что существенно упрощает получение решения с использованием компьютерной техники. Обобщенное уравнение теплообмена имеет вид:

$$\frac{\partial}{\partial \tau}(\rho \bar{\Phi}) + \text{div}(\rho \bar{u} \Phi) = \text{div}(\Gamma \text{grad } \Phi) + S, \quad (1)$$

где Γ - коэффициент диффузии; S - источниковый член.

Конкретный вид Γ и S зависит от физического смысла переменной Φ (например, если $\Phi \equiv T$ - температура, то $\Gamma \equiv \lambda$ - теплопроводность).

Система уравнений (1) доопределяется законом сохранения массы (уравнением неразрывности)

$$\frac{\partial \rho}{\partial \tau} + \text{div}(\rho \bar{u}) = 0 \quad (2)$$

Совокупность уравнений такого типа, определяющих перенос энергии, массы, количества движения и т. д., совместно с краевыми условиями и определяют математическую модель исследуемых процессов.

Для оценки методов решения обратных задач теплопроводности (ОЗТ) представляются 16 наиболее наглядных критериев, предложенных в работах Бека [4]. Остановимся на трех наиболее важных с их коррекцией по существу.

1. Учитывая принципиальную невозможность получения абсолютно точной входной информации к решению ОЗТ (как в физическом, так и в численном эксперименте), критерий «точные исходные данные должны приводить к точным решениям ОЗТ» целесообразно трактовать следующим образом: - ошибка решения ОЗТ, включая методическую, должна быть согласована с ошибкой входных экспериментальных данных.

2. Погрешность экспериментальных данных не должна сказываться на характеристиках метода решения ОЗТ. Учитывая важность этого критерия целесообразно его доопределить: «... и уже на стадии исследования характеристик алгоритма следует предусмотреть процедуру оценки его качества по этому критерию».

3. Требование устойчивости метода при малых временных интервалах исследования ОЗТ также относится к числу наиболее важных [1]. Так же, как и в предыдущем случае, оценка качества алгоритма по этому критерию должна быть предусмотрена на стадии исследования его характеристик.

Кроме того, следует учитывать простоту алгоритмизации применительно к ЭВМ. Этот критерий несколько шире,

предложенного Бекем в работе [4] «метод должен быть удобным для программирования», поскольку не ограничивает исследователя в используемой вычислительной технике только ЭЦВМ.

Остальные критерии работы [4] практически совпадают с требованиями к точности решения ОЗТ работ Коздобы Л.А. и не являются определяющими в выборе метода решения.

Задачи, которые стоят на стадии экспериментального исследования ММ и методов ее решения, можно условно разделить на две группы. К первой можно отнести задачу установления адекватности ММ исследуемому процессу, ко второй - оценку качества выбранного метода решения по перечисленным критериям.

Наиболее широко используется следующий подход к решению первой задачи - сравнение точных решений для некоторых частных случаев с решением исследуемой ММ. В этом случае не всегда можно говорить о полной адекватности ММ исследуемому процессу. (Например, при сравнении полученного стационарного решения на базе нестационарной ММ с точным). Но даже установление адекватности в некотором диапазоне изменения параметров ММ имеет важное значение для подтверждения достоверности результатов экспериментальных исследований и их обработки с использованием ММ в условиях, отличающихся от условий сравнения.

Таким образом, проведенный выше анализ проблемы диагностики высокоинтенсивных тепловых процессов черной металлургии позволил сформулировать её как обратную задачу теплообмена с конкретизацией критериев оценки точности как математических моделей, так и методов их решения.

Перечень источников

1. Коздоба Л.А. Методы решения нелинейных задач теплопроводности. - М.: Наука, 1975.- 228 с.
2. Алифанов О.М. Идентификация процессов теплообмена летательных аппаратов. - М.: Машиностроение, 1979.- 216 с.
3. Маркин А.Д., Ханна С. Об одной коэффициентной задаче для уравнения Фурье. – В кн: Идентификация Динамических Систем и Обратные Задачи: Сб. докл. Второй Международной Конф.- СПб, 1994.
4. Beck J.V. Criteria for comparison of methods of colution of the inverse heat conduction problem. - Nucl. Eng. And Des.,-1979, 53, № 1, p. 11-22.