

## МЕТОДИКА ОПТИМИЗАЦИИ ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

*Канд. техн. наук, доц. ВОРОНОВА Н. П., инж. ГРИБКОВА С. М.*

*Белорусский национальный технический университет*

Проблема энергообеспечения во всем мире считается одной из приоритетных. Энергосбережению как важнейшей ее составляющей в рамках общенациональных задач промышленно развитых стран уделяется самое серьезное внимание. Современные сложные, быстро протекающие и энергоемкие процессы уже невозможно реализовать без дополнения их современными системами автоматического управления. Существуют такие процессы, которые в принципе не могут идти без соответствующей системы управления хотя бы потому, что они являются существенно неустойчивыми.

Международная федерация по автоматическому управлению классифицирует математические модели, включающие в себя описание реальных объектов в виде алгебраических или обыкновенных дифференциальных уравнений или их систем, как системы с сосредоточенными параметрами. Но, к сожалению, такое при-

ближение далеко не всегда адекватно реальному объекту. Математические модели, содержащие уравнения в частных производных или интегральные уравнения, называют системами с распределенными параметрами. Задачи управления такого рода объектами важны и интересны, так как возникают в самых различных областях современной науки. Огромное число таких задач возникает в теоретической физике, в теории сплошных сред, где приходится сталкиваться с уравнениями математической физики, описывающими состояние полей различной природы. Наука об управлении должна устанавливать принципы управления всевозможными процессами, выявляя предельные, оптимальные свойства, которые можно получить с помощью тех или иных распределенных регуляторов.

Разработка теории и техники автоматического управления для объектов с распределен-

ными параметрами в общем обуславливается следующими факторами [1]:

- состояние объекта описывается функциями нескольких независимых переменных;
- движение объекта описывается дифференциальными уравнениями с частными производными, интегродифференциальными уравнениями в частных и полных производных;
- управляющие воздействия на объект могут носить самый разнообразный характер. Они могут описываться функциями одной и многих независимых переменных;
- на управляющие воздействия и функции состояния объекта могут накладываться дополнительные ограничения типа равенств и неравенств;
- техническая реализация управляющих систем связана с большими трудностями и проблемами новой технологии.

Помимо чисто научного интереса, проблема управления распределенными системами имеет множество практических приложений в различных отраслях промышленности при решении ряда технических задач. Существо таких задач таково, что оно требует использования сложного математического аппарата. Учитывая эту специфику, необходимо сопоставлять возможность как аналитического, так и численного методов решения поставленных задач.

При решении задач методом математического моделирования объект, подлежащий изучению, заменяется математической моделью. Математическая модель представляет собой совокупность математических соотношений, отображающих взаимосвязь между существенными с точки зрения решаемой задачи параметрами. Математические соотношения могут представлять собой функциональные зависимости или логические связи. Под признаками моделируемого объекта понимаются параметры его структуры, различные свойства, особенности и закономерности функционирования.

Разработка математических моделей, описывающих всевозможные взаимосвязи между всеми параметрами моделируемого объекта, практически невозможна. Это и не всегда требуется, так как в зависимости от предпринимаемого исследования те или иные параметры и их взаимосвязи являются несущественными и могут быть проигнорированы.

Если математическая модель построена корректно, то существенные признаки ее и объекта

оригинала идентичны степени достоверности, достаточной с точки зрения решаемой задачи.

Исследование реальных объектов методом математического моделирования представляет собой последовательное выполнение следующих этапов:

- 1) формулировка цели исследования;
- 2) анализ моделируемого объекта;
- 3) разработка физической модели и обоснование ее соответствия по существенным признакам моделируемому объекту;
- 4) разработка математической модели;
- 5) разработка алгоритмов решения поставленной задачи;
- 6) разработка пакета программ для численного решения задачи;
- 7) отладка и тестирование программ;
- 8) анализ результатов исследования.

При решении задач методами математического моделирования неизбежны погрешности получаемых результатов. По источнику происхождения таких погрешностей их можно разбить на четыре группы:

- погрешности формализации, возникающие при переходе от объекта оригинала к его физической модели. Обычно оценку таких погрешностей получают при экспериментальных исследованиях;

- погрешности исходных данных, связанные с физическими измерениями объекта оригинала. При измерениях в технических системах погрешность измерения в статических условиях обычно составляет 1–5 %, в динамических – 5–20 %;

- погрешности вычислительного алгоритма, связанные с приближенным решением математических соотношений численными методами. Такая погрешность должна быть в 2,5 раза меньше погрешности исходных данных;

- погрешности машинного округления, связанные с тем, что все вычисления выполняются с определенным числом значащих цифр. Эта погрешность зависит от типа компьютера и программы и должна быть в 5–10 раз меньше погрешности вычислительного алгоритма.

Таким образом, для получения достоверных результатов при математическом моделировании необходимо глубокое понимание всех существенных особенностей исследуемого объекта, его модели, вычислительных алгоритмов, программ, возможностей вычислительной техники.

В последнее время особый интерес вызывают конкретные производственные теплотехнологические процессы, для которых проблему их

управления необходимо исследовать как задачу управления системами с распределенными параметрами. К таким задачам относятся процессы, связанные с распределением теплоты или концентрации. Эти процессы относятся к классу диффузионных процессов. Они широко применяются в основных отраслях промышленности: строительной, металлургической, машиностроительной, химической и в ряде других отраслей промышленности и техники. Математически эти процессы описываются уравнениями параболического типа, типичным представителем которого является уравнение теплопроводности (диффузии).

Во многих производственных процессах большое значение придается экономичному в

плане окисления нагреву металла либо наискорейшему нагреву материалов, оптимизации термических процессов, процессов сушки. Нагрев изделий, как правило, происходит в печах, и температура печи может рассматриваться как управляющее воздействие. Путем изменения подачи топлива в печь или установки регулятора температуры можно реализовать те или иные температурные режимы [2].

В связи со сказанным выше возникла проблема разработки методики, позволяющей с минимальными затратами за минимальное время достичь требуемых параметров теплотехнологического процесса. На рис. 1 предлагается структурная схема методики оптимизации теплотехнологических процессов.

Рис. 1. Структурная схема решения проблемы оптимизации теплотехнологических процессов



На основании структурной схемы решения проблемы основными задачами исследований, связанных с энерго- и ресурсосбережением, являются следующие:

1) разработать общую постановку математической модели теплотехнологических процессов, на основании которых можно было бы решить конкретные производственные задачи;

2) предложить методы решения поставленных задач, учитывая общую постановку и возможные частные случаи;

3) проверить адекватность математической модели реальному теплотехнологическому процессу;

4) уточнить все параметры математической модели, найти теплофизические характеристики модели;

5) на основании уточненных либо эффективных теплофизических характеристик получить реальные температурные поля, соответствующие математической модели;

6) поставить и решить задачу оптимизации теплотехнологического процесса (по времени, получению конкретных технологически требуемых результатов, стоимости, материалопоглощению и др.);

7) внедрить результаты исследований в производство.

## ВЫВОДЫ

Выявлено, что оптимизация теплотехнологических процессов состоит из следующих этапов:

- экспериментально-теоретические исследования теплотехнологических процессов;
- постановка, математическая формулировка задачи по определению температурных полей;
- определение основных параметров теплотехнических режимов;
- разработка алгоритма оптимального управления по заданному критерию;
- разработка рекомендаций по реализации оптимальных теплотехнологий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бутковский, А. Г. Методы управления системами с распределенными параметрами / А. Г. Бутковский. – М.: Наука, 1975. – 568 с.
2. Воронова, Н. П. Математическое моделирование энергосберегающих режимов нагрева, сушки и термообработки / Н. П. Воронова. – Минск: БНТУ, 2006. – 86 с.

Поступила 26.06.2009

УДК 546.273.171

## ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОТЖИГА НА НЕКОТОРЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КНБ, ПОЛУЧЕННОГО ИЗ ПИРОЛИТИЧЕСКОГО НИТРИДА БОРА

*БАЙЛУК Н. Д., канд. техн. наук, доц. ДЕМИДКОВ С. В., канд. физ.-мат. наук, доц. ЗАНКЕВИЧ В. А.,  
инж. КОСАРЕВ О. М., РАКИЦКАЯ Л. И., канд. техн. наук, доц. СИЗОВ В. Д.*

*Белорусский национальный технический университет,  
Белорусский государственный аграрный технический университет,  
НПЦ НАН Беларуси по материаловедению*

Интерес к кубическому нитриду бора (КНБ) вызван уникальностью его физико-механических свойств, в частности модулей упругости, микротвердости [1]. В связи с этим поликристаллические сверхтвердые материалы (ПСТМ)

на основе КНБ наиболее широко используются в качестве лезвийного и абразивного инструментов для обработки закаленных сталей с  $HRC = 50$ , труднообрабатываемых материалов, например вольфрамкобальтовых сплавов (ВК)