

УДК 627.7:519.6

О ПРОБЛЕМАХ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Сергиенко Л.С., Багдужева Х.Н.

Иркутский государственный технический университет

Рассматриваются некоторые современные технологии моделирования индустриальной математики. Обозначены два доминирующих направления исследований – сеточные методы численной реализации многомерных дифференциальных моделей с кусочно-корректными задачами и статистические методы оптимального планирования и обработки результатов эксперимента.

Стремительное развитие вычислительной техники приводит к постоянному расширению круга задач, решаемых с применением ЭВМ. В свою очередь внедрение компьютеров в самые различные виды деятельности человека порождает потребность в дальнейшем усовершенствовании структурной организации и определяющих характеристик современных вычислительных машин. В связи с этим неизбежно возрастает необходимость во все большей математизации методов научных исследований, выделяются такие новые направления, как математическое моделирование, математическая экономика, математическая лингвистика и др. Появившиеся гибриды, объединившие ранее самостоятельно развивающиеся теории, формируются под влиянием новейших идей уходящего 20-го и грядущего 21-го столетий, отражающих переход от локальных исследований к глобальным, стремление оценить полномасштабное поведение объектов в перспективе. Одновременно происходит углубление научных исследований в микроструктуру рассматриваемых явлений, разрабатываются тончайшие нанотехнологии, оперирующие с настолько малыми величинами, размеры которых сопоставимы с габаритами атомов.

Одним из главных факторов, стимулирующих такое колоссальное расширение диапазона научных исследований, можно считать применение вычислительного эксперимента в качестве одного из основных инструментов испытаний. Помимо экономии материальных и временных ресурсов компьютерное моделирование открыло ранее недоступные аспекты исследований: возможность с помощью виртуальной среды прогнозировать поведение изучаемых объектов в экстремальных условиях и даже за их пределами - там, где натурный эксперимент опасен или невозможен; оценивать работоспособность систем с длительными эволюционными циклами; выстраивать мультиколлоннады сложнейших фрактальных микроструктур и мн. др.

Решение основных проблем современного естествознания, таких как построение концептуальной теории хаотической механики, математическая формулировка вопроса самоорганизации диссипативных структур в синергетике, теория катастроф и множество других, невозможно без увеличения размерностей моделируемых многообразий.

Для более точного математического описания физических законов, действующих в реальных средах, которые являются результатом суперпозиции бесконечного числа различных полей, необходимо увеличивать не только размерность факторного пространства, то есть количество независимых переменных, но и вводить в модели оптимально наибольшее количество источников - исследуемых функций, порождающих рассматриваемое явление. Кроме того следует учитывать, что динамические процессы эволюционируют одновременно во времени и в пространстве - в пространственно-временном континууме. Изучением одного из классов пространственно-временных моделей с отсутствием памяти, когда состояние системы в каждый момент времени определяет будущее развитие в статическом смысле независимо от того, что происходило с ней в прошлом, занимается современная теория марковских процессов.

Вышесказанное обуславливает необходимость в дальнейшей более полной и углубленной разработке теоретической базы для построения, исследования и численной реализации многомерных моделей, более точно представляющих реальные процессы, чем в случае достаточно хорошо изученных задач на плоскости и в трехмерном пространстве. Решение обозначенной проблемы стало возможным в значительной степени благодаря компьютеризации математических преобразований, позволяющих в сравнительно небольшие сроки решать сложные задачи с практически неограниченным количеством переменных.

Создание централизованного информационного систематизированного компьютерного банка корректно поставленных задач для многомерных дифференциально-операторных уравнений, позволяющего существенно сократить параллелизм и дублирование в научных исследованиях, в значительной степени ускоряет решение обозначенной проблемы. Особо следует отметить необходимость классификации результатов исследований вырождающихся систем дифференциальных уравнений, требующих оригинального подхода в каждом конкретном случае [6, 7, 13].

Сеточные методы решения кусочно-корректных задач

При моделировании динамических процессов в неоднородных нелинейных средах довольно часто очень сложно или даже совсем невозможно поставить дифференциальную задачу, корректную во всей рассматриваемой области [11]. Для численной реализации таких задач можно воспользоваться методом, при котором пространство исследования разбивается на части, в которых локальные задачи становятся корректными. Назовем в этом случае поставленную общую задачу кусочно-корректной. При выполнении вычислительных процедур алгоритм решения основной задачи последовательно управляет подготовкой исходных данных, необходимых для решения локальных задач. Как правило, кусочно-корректные задачи решаются сеточными методами – методом конечных разностей, методом конечных элементов, методом объемных элементов и др. Наиболее наглядным примером кусочно-корректных задач являются технологические задачи плоского течения жесткопластического тела. В [2, 9, 12] показаны численные методы решения кинематически определимых задач плоского течения металла с использованием компактных процедур передачи данных через границы смежных областей корректности, являющихся характеристиками гиперболических дифференциальных уравнений поставленной основной задачи. При этом ячейка поля линий скольжений составляет область корректности локальной задачи. Все поля характеристик, называемых в теории пластичности линиями скольжения, а также поля напряжений и скоростей строятся по ограниченному числу исходных данных на контуре Коши или на одной из характеристик.

В математическую модель с кусочно - корректной задачей помимо дифференциальных уравнений и заданных краевых или начальных условий должна входить дополнительная информация, позволяющая установить границы применимости выбранных значений коэффициентов уравнений. Для этого необходимо доста-

точно полно характеризовать условия протекания исследуемого процесса: физико-химические и механические свойства изучаемого явления, геометрические размеры зон моделирования и условия взаимодействия их границ и исследуемого объекта с внешней средой, начальное состояние рассматриваемой системы и т.д.

В качестве примера такой кусочно - корректной задачи можно привести технологическую задачу упрочнения поверхностей деталей машин и инструмента легированием из низкотемпературной плазменной струи [8]. Массоперенос газа в металл является линейным неоднородным процессом, с различной скоростью протекающим в газообразной, жидкой, твердой и твердой средах одновременно. При переходе через фазовые поверхности происходят динамические бифуркации параметров процесса диффузии, которые неподдаются непосредственному измерению. В связи с этим алгоритм решения основной задачи должен меняться на множестве локально корректных задач.

В работе [5] процесс насыщения азотом низкоуглеродистой стали 20 разбивается на две основных этапа: перенос легирующего элемента из газовой струи на поверхность и диффузию газа внутрь металла. Для решения поставленной кусочно-корректной задачи поверхностного упрочнения материала применяется универсальный метод сеток с неявной конечно-разностной схемой на четырех точечном шаблоне.

Статистические методы планирования эксперимента

Исследование физико-технических систем методами математического анализа связано со многими трудностями теоретического и физического характера, и, естественно, далеко не все сложные динамические процессы можно описать с помощью даже очень большого числа дифференциальных законов. В настоящее время разработано довольно много разнообразных способов построения математических моделей.

Рассмотрим радикально отличный от предыдущих методов моделирования подход к исследованию «суперсложных», «плохо организованных» или так называемых диффузных систем [1]. Почти любой технологический процесс можно рассматривать как пример диффузного явления. В отличие от «хорошо организованной» системы, в которой результаты исследования удается описывать дифференциальными уравнениями, играющими роль абсолютных законов, в диффузной системе невозможно выделить отдельные элементарные процессы. При моделировании статистическими методами такое явление представляется в виде «черного ящика», в котором исследователь определяет связь между перемен-

ными с помощью математических методов планирования и обработки результатов натурального эксперимента, почти не вникая в механизм изучаемых явлений.

Исследование диффузных систем статистическими методами стало возможным только после того, как снизилось требования, предъявляемые к формализованному описанию объекта изучения, и наряду с понятием абсолютного закона в науке достаточно четко сформировалось понятие математической модели. Если закон можно представить как некоторую конечную истину на данном уровне знаний, то математическая модель может давать только определенное представление о поведении изучаемого объекта или явления. Одну и ту же диффузную систему можно описывать одновременно несколькими моделями, каждая из которых в конкретных условиях дает достаточное приближение искомых значений переменных к данным натуральных экспериментов и с различных позиций характеризует объект моделирования.

Изучение одного и того же процесса одновременно по нескольким статистическим моделям, требующее вычислений с корреляционными матрицами больших размерностей, стало возможным только с появлением быстродействующих ЭВМ.

Представление результатов исследования множеством альтернативных статистических моделей – сравнительно новый и эффективный метод исследования, вызвавший большой интерес ученых и инженерно-технических работников: только за период с 1965 по 1969 годы на русском и украинском языках было опубликовано более 500 научных работ по методологии и применению планирования эксперимента.

Использование статистических методов в технико-экономических исследованиях заметно повысило эффективность промышленных экспериментов [3]. Например, в [4, 10] показано, что применение методов факторного расчета полей температур, влажности и подвижности воздуха позволяет в минимальные сроки с оптимальным количеством опытов определить и исследовать функции отклика основных характеристик микроклимата в зависимости от времени суток и размеров помещения. Проведение экспериментов одновременно по двум симметричным композиционным факторным планам 2-го порядка позволило определить условия их оптимальной реализации.

В заключение отметим, что любая, даже очень хорошая (с точки зрения статистических оценок) математическая модель является только приближенным отображением объективной реальности, и её почти всегда можно улучшить.

Процесс усовершенствования, как и процесс познания, может быть бесконечным, поэтому рассматриваемую проблему можно считать решенной только на некотором ограниченном историческом отрезке времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976.–С.250.
2. Непершин Р.И. Кинематически определимые задачи плоского пластического течения жесткопластического тела//Проблемы механики неупругих деформаций/Сб. науч. ст.–М.: Физматлит, 2001.–С.244.
3. Новик Ф.С., Арсов Я.Б. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов.–М.: Машиностроение; София: Техника, 1980.
4. Сергиенко Л.С., Житов В.Г. О компьютерном моделировании микроклимата в здании //Математические модели и методы их исследования /Тр. междунар. конф.–Т.2.–Красноярск: Изд-во Ин-та вычислительного моделирования СО РАН, 2001.–С.191.
5. Сергиенко Л.С., Нестеренко Н.А. Применение компьютерного моделирования при определении оптимального режима обработки поверхности металлов низкотемпературной плазмой//Сварка. Контроль. Реновация/Тр. междунар. конф.–Уфа: Гилем, 2001.–С.55.
6. Сергиенко Л.С. О постановке Корректных задач для вырождающихся моделей Стационарных процессов, протекающих в соленоидальном поле скоростей//Неклассические уравнения математической физики/Сб. науч. ст.– Новосибирск: Изд-во Ин-та математики СО РАН, 2002.–С.226.
7. Сергиенко Л.С. О проблемах моделирования стационарных процессов, протекающих в асимметричном соленоидальном поле //Современные методы теории функций и смежные проблемы/Воронежская зимняя математическая школа.–Воронеж: ВГУ. 2003.–С.225.
8. Сергиенко Л.С., Нестеренко Н.А. Математическая модель для управления режимами плазменного локального упрочнения поверхности металлов //Технология металлов/Ежемес. произв., науч.-техн. и уч.-метод. журн.–Москва, 2003, №7.–С.16-20.
9. Сергиенко Л.С., Даценко В.И. математическая модель жесткопластического тела //Вестник ИрГТУ/Науч. журн.–№1.–Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2003.–С.31.
10. Сергиенко Л.С., Житов В.Г. Исследование метеорологических условий в помещениях жилых и общественных зданий и применением

математических методов планирования эксперимента//Известия высших учебных заведений Министерства образования РФ/Ежемес. науч.-теорет. журн. «Строительство». –№6 (534).– Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. архитектурно-строительного ун-та, 2003.–С.63.

11. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач.–М.: Наука, 1979.–С.452.

12. Druyanov B.A. and Nepershin R.I. Problems of Technological Plasticity.–Amsterdam: Elsevier, 1996.

13. Lukyanova E.A., Sergienko L.S. (Irkutsk). Investigation of Formulation of Correct Bound Problems for Degenerate System //OPTIMIZATION METHODS AND THEIR APPLICATION /PROCEEDINGS OF 11-th Baikal International School–Seminar–Irkutsk: Melentjev Institute of Energe System SB RAS, 1998.

**ON THE PROBLEMS OF COMPUTERISED
MODELING OF PHYSICOTECHNICAL SYSTEMS**

Sergienko L.S., Bagdueva H.N.

Irkutk state technical university

Some modern technologies of industrial mathematics modeling are considered. Two predominant research trends –net methods of numerical implementation of multidimensional differential models with sectional well-set problems and statistics of optimal scheduling and experiment results processing are indicated.