

УДК 621.51+519.6+512.54

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ И МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
СИСТЕМНЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРИБОРОВ И АГРЕГАТОВ  
СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМБ.Н.Борисенко  
А.С.Богомолов  
М.И.Трегубов  
М.Л.Угрюмов  
Ю.К.Чернышев

Системный подход к разработке и конструированию сложных технических систем является единственно возможным при создании математических моделей современных конструкций летательных аппаратов, их приборов и агрегатов. В связи с этим актуальным является вопрос унификации математических средств и алгоритмов для использования в моделировании процессов и явлений различной физической природы.

Интенсивное использование систем цифровой передачи данных в задачах телеметрии, сбора и обработки информации, автоматического управления обуславливает необходимость непрерывного совершенствования их технических характеристик.

Известно, что помехоустойчивость и скорость передачи цифровой информации в значительной степени зависят от параметров используемого канала связи. В настоящее время для организации обмена и передачи данных в автоматизированных информационных системах наиболее широко используются стандартные телефонные каналы тональной частоты (ТЧ), а также кабельные линии городской телефонной сети (ГТС). Каналы ТЧ предназначались для организации телефонной связи между абонентами и не учитывали особенностей передачи дискретных сообщений. Параметры каналов, которые практически не оказывали влияние на качество передачи телефонных сообщений, заметно ухудшают качество передачи дискретной информации. К их числу, в первую очередь, следует отнести характеристики неравномерности остаточного затухания и группового времени прохождения каналов ТЧ.

Известно, что указанные характеристики могут быть улучшены использованием в канале связи амплитудно-частотных и фазо-

частотных корректоров [1 - 4]. Однако существующие методики проектирования таких корректоров зачастую несовершенны и в значительной степени ориентированы на интуицию разработчика, что превращает задачу проектирования в достаточно длительный и трудоемкий процесс. Широкая постановка задачи и создаваемая обширная база данных корректоров позволяют использовать полученные разработки для коррекции значительного круга радиотехнических систем и устройств. Кроме того, поскольку основой корректоров являются звенья фильтров верхних и нижних частот, полосовых фильтров - система также предоставляет возможность проектирования ряда широко используемых фильтров (Баттерворта, Чебышева, инверсных Чебышева, эллиптических и фильтров Бесселя). Разрабатываемые схемы ориентированы на современную элементную базу операционных усилителей.

Разработанная система автоматизированного проектирования включает в себя два основных блока: программа оптимизации характеристик канала связи и база данных характеристик корректора.

В программу оптимизации вводятся характеристики реального канала ТЧ, число переприемных участков и требуемые допуски на неравномерность характеристик ГВП и АЧХ. Математический аппарат, используемый для оптимизации - метод покоординатного спуска, а критерий оптимизации - сумма квадратов отклонений полученного суммарного сигнала от идеальной характеристики канала ТЧ. Из базы данных характеристик корректора пользователь вызывает желаемый тип корректора. Его амплитудно-частотная характеристика, ФЧХ и характеристика ГВП также вводятся в программу оптимизации, в результате работы которой путем вариации полосы пропускания, добротности, коэффициента передачи, числа последовательно или параллельно включенных звеньев достигается коррекция характеристик каналов, сколь угодно близкая к оптимальной. Результирующая характеристика отображается на дисплее. Из программы оптимизации полученные в результате ее работы значения параметров корректора передаются в базу данных корректоров, где производится выбор и расчет принципиальных схем выбранного типа корректора. Полученная схема и значения номиналов ее элементов отображаются на дисплее и могут быть выведены на печатающее устройство в виде твердой копии. Про-

цесс оптимизации может быть быстро произведен для следующего типа корректора, что открывает широкие возможности для разработчика.

В базе данных характеристик корректоров в настоящее время реализованы схемы на основе полосовых фильтров и фильтров нижних частот.

Для передачи СВЧ сигналов в радиотехнических устройствах, и антенной технике используются волноведущие и резонансные системы П и Н - образной формы. Указанный выше подход используется при анализе такого рода агрегатов с дальнейшим созданием системы автоматизированного проектирования.

Рассматривается определение собственных частот и добротностей резонансных систем сложной формы, имеющих слоистые импедансные стенки с отверстиями в них [5]. В общем случае задача сводится к решению уравнений Максвелла с соответствующими граничными условиями третьего рода на стенках резонаторов. Данная задача при непосредственном решении приводит к существенным трудностям математического, а точнее, вычислительного характера. Эффективными методами решения краевых задач для областей сложной формы являются вариационные методы, сочетаемые со структурным методом R-функций. С их помощью представляющие интерес характеристики краевых задач получаются с закономерно возрастающей и в ряде случаев хорошо оцениваемой точностью. Данные методы позволяют не упрощать и идеализировать конкретные прикладные задачи еще в постановочной части, а решать их численно в необходимой полной и адекватной модели.

Рассматриваются резонаторы П и Н-образной формы, имеющие импедансные слоистые стенки с малым отверстием, произвольным образом расположенным на них. Стенки резонаторов представляют собой тонкий слой одного металла, нанесенного на массивную подложку из другого металла, либо слоистую структуру из диэлектрика и пары металлов.

Будем определять собственные частоты, а также добротности резонаторов в зависимости от геометрических размеров, радиуса отверстий и их координат расположения на стенках, а также от характера покрытия стенок резонансных систем. Создаваемое программное обеспечение позволяет пользователю вводить непосредственно в диалоговом режиме координаты расположения отверстий,

параметры слоистых стенок резонаторов, изменять геометрию системы, наблюдать эти изменения на экране дисплея, а также менять количество координатных (базисных) функций, по которым производится разложение решения в ряд, что позволяет анализировать динамику изменения электродинамических характеристик и точность.

Сходный математический подход использован при решении обратных краевых задач аэродинамики. Он состоит в конструировании такого оператора, действующего на функцию заданного множества, что каждой такой функции соответствует лишенный точек самопересечения профиль в диффузорной решетке, ограниченный замкнутым кусочно-гладким контуром и обладающий заданными априори свойствами.

Общность математических структур моделей подсистем агрегатов ГТД прослеживается при создании алгоритма нахождения квазирешений вариационной смешанной краевой задачи аэрогидродинамики (СКЗА) построения диффузорных решеток профилей при установившемся безотрывном обтекании в потоке идеального политропного газа с учетом вязкости в приближении пограничного слоя. Предлагается способ задания фиксированного многопараметрического семейства распределения давления вдоль контура профиля. Это приводит к алгоритму получения гидродинамически целесообразного распределения давлений, удовлетворяющего условию совместности исходных данных и условию разрешимости СКЗА.

В процессе создания математических моделей сложных технических систем необходимо на каждом этапе использовать тот или иной метод геометрического моделирования линий, поверхностей и полей размерностей три и более. Основой для такого моделирования в данной работе является метод сплайн-функций, причем используется специально разработанный класс кусочно-параболических и дробно-рациональных сплайн-функций. Это позволяет, в частности, решить задачу создания обобщенного образа поля характеристик компрессора ГТД на базе множества экспериментальных кривых. В процессе снятия данных по испытаниям необходимо отсеять ошибки измерений; исследован новый метод сглаживания, использующий стабилизирующие свойства сплайн-функций, сохраняющих знак второй производной на отдельных интервалах между

узлами [6]. Рассматриваемая задача создания обобщенного образа потребовала разрешения проблемы нахождения таких групповых преобразований, которые сохраняли бы асимптоты в различных фазовых плоскостях. В результате создан алгоритм и пакет прикладных программ по сведению огромного количества экспериментальных данных к достаточно информативному, но небольшому по объему файлу узлов обобщенного образа и программного модуля для приведения его к заданным рабочим точкам фазовых плоскостей.

Для пространственного описания поверхностей и полей предлагается метод, получивший название метода "порций" [7]. Его суть состоит в том, что сеточно заданные поверхности рассматриваются как композиции отдельных ячеек ("порций"), представляющих собой пространственные многоугольники с переменным, вообще говоря, количеством вершин, так что отдельный файл для представления поверхности содержит наборы номеров отдельных вершин и их количества, а собственно координаты вершин порций записаны в другом файле. Тем самым оказывается разрешимой задача построения линии пересечения двух порционно заданных поверхностей; такая задача особенно часто возникает при математическом моделировании полостей каналов центробежных компрессоров ГТД с последующим генерированием трехмерной сетки.

В результате проведенных в данном направлении исследований созданы пакеты прикладных программ для расчета пространственного течения в канале венцов осевых компрессоров с учетом вязких эффектов, а также для решения ряда задач проектирования оптимальных конструкций компрессоров ГТД, что позволило внедрить разработанные математические модели и программы в ЗМКБ "Прогресс" (г. Запорожье), НПО "Турбоатом" (г. Харьков).

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.

1. Борисенко Б. Н., Трегубов М. И., Борисенко А. Б. и др. Построение многоуровневой иерархической системы оптимального проектирования с помощью системных математических моделей. / ХАИ : деп. в УкРИНТЭИ, инв N 0293И000262, 1992 - 42 с.
2. Шварцман В. О., Емельянов Г. А. Теория передачи дискретной информации. / М.: Связь, 1979 - 424 с.

3. Чернега В. С., Василенко В. А., Бондарев В. Н. Расчет и проектирование технических средств обмена и передачи информации. / М.: Высшая школа., 1990. - 224 с.
4. Сильвинская К. А., Гольшко З. И. Расчет фазовых и амплитудных корректоров : Справочник. / М.: Связь, 1980. - 104 с.
5. Богомоллов А.С.,Кравченко В.Ф. Электродинамические характеристики резонатора сложной формы с импедансными стенками. / М.: Изд. стандартов, 1992 ,Измерительная техника N2. - 45 с.
6. Чернышев Ю.К., Мирошниченко Г.А., Трегубов М.И. Специальное математическое и программное обеспечение построения статистико-математических и геометрических моделей агрегатов и деталей тепловых машин / ХАИ : деп. в УкрИНТЭИ, инв. N 0293И000261, 1992 - 52 с.
7. Чернышев Ю.К., Трегубов М.И. Синтез трехмерных регулярных сеток / Тез./ Новые технологии в машиностроении / Вторая международная конф./ Харьков, Рыбачье, 1993.