

11. Масргойз И. Д. Итерационные методы расчета статических полей в неоднородных анизотропных и нелинейных средах. Киев, Наукова думка, 1979.
12. Кельман В. М., Явор С. Я. Электронная оптика. Л., Наука, 1968.
13. Куликов Ю. В., Монастырский М. А., Фейгин Х. И. Теория aberrаций третьего порядка катодных линз. Aberrации катодных линз с комбинированными электрическими и магнитными полями.— Радиотехника и электроника, 1978, т. 23, № 1, с. 167—174.
14. Марчук Г. И. Методы вычислительной математики. М., Наука, 1977.
15. Самарский А. А. Теория разностных схем. М., Наука, 1977.
16. Стренг Г., Фикс Дж. Теория метода конечных элементов. М., Мир, 1977.
17. Штеттер Х. Анализ методов дискретизации для обыкновенных дифференциальных уравнений. М., Мир, 1978.
18. Моисеев Н. Н., Иванилов Ю. П., Столяров Е. М. Методы оптимизации. М., Наука, 1978.
19. Марчук Г. И., Шайдуров В. В. Повышение точности решений разностных схем. М., Наука, 1979.
20. Воронин В. В., Цецохо В. А. Интерполяционный метод решения интегрального уравнения Фредгольма I рода с логарифмической особенностью.— ДАН СССР, 1974, т. 216, № 6, с. 1209—1211.
21. Иванов В. Я., Ильин В. П. О численном решении интегральных уравнений теории потенциала для модельных задач.— Препринт № 33. Новосибирск, изд. ВЦ СО АН СССР, 1976.
22. Вазов В., Форсайт Дж. Разностные методы решения дифференциальных уравнений в частных производных. М., Изд-во ИЛ, 1963.
23. Ильин В. П., Попова Г. С. Сравнительный анализ методов численного интегрирования уравнений движения заряженных частиц.— Препринт № 104. Новосибирск, изд. ВЦ СО АН СССР, 1978.
24. Единая система программной документации. ГОСТ 19.101-77, ГОСТ 19.101-77-19. 103-77. М., Изд-во стандартов, 1977.
25. Шараев Д. Я. Организация больших программ. Свердловск, изд. УрГУ, 1977.

Поступила в редакцию 25 сентября 1979 г.

УДК 621.384 : 681.7.069.32

В. Я. ИВАНОВ
(Новосибирск)

ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ЯЗЫК ОПИСАНИЯ ДАННЫХ ДЛЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ЗАДАЧ ЭЛЕКТРОННОЙ ОПТИКИ

Введение. Описание входных данных для задач расчета характеристик электронно-оптических систем (ЭОС) является достаточно сложной и актуальной проблемой, эффективное решение которой представляет важный шаг повышения степени автоматизации расчетов и машинного проектирования. Эта проблема рассматривалась автором в работе [1] для широкого класса задач электростатики и электронной оптики, описанного в [2]. При решении задач оптимизации характеристик ЭОС в значительной степени возрастает разнообразие вариантов разветвления вычислительного процесса, а следовательно, и сложность структуры входных данных. По этой причине проблема создания надежного программного обеспечения в виде пакетов прикладных программ и систем автоматизированного проектирования (САПР) не может считаться удовлетворительно решенной без создания специализированных средств, обеспечивающих контроль правильности задания входной информации, удобство описания задачи для специалиста конкретной проблемной области и минимальность объема данных. В настоящей работе рассматриваются проблемно-ориентированный язык ЭЗОП (описание параметров экстремальных задач) и транслятор, являющиеся компонентами информационного обеспечения САПР ТОПАЗ, ориентированной на решение задач электро-, магнито-статистики, электронной оптики изображающих ЭОС и плотных пучков ре-

тик ЭОС, удовлетворяющих заданным критериям качества, сформулировать следующим образом. Требуется найти минимум функционала

$$F_0(\mathbf{u}, \varphi) \rightarrow \min_{\mathbf{u} \in U}, \quad (1)$$

определенного на решении краевой задачи для уравнения Пуассона

$$\Delta \varphi = f \quad (2)$$

с оператором граничных условий

$$\hat{l}(\varphi)|_{\Gamma} = \varphi_0 \quad (3)$$

и удовлетворяющего системе функциональных

$$F_j(\mathbf{u}) \leq 0, \quad j = 1, \dots, M, \quad (4)$$

$$F_j(\mathbf{u}) = 0, \quad j = M + 1, \dots, N \quad (5)$$

и локальных ограничений

$$u_i^- \leq u_i \leq u_i^+, \quad i = 1, \dots, k, \quad (6)$$

на вектор управления \mathbf{u} из области допустимых управлений U . Само управление представляет собой оператор, действующий на структурные параметры краевых условий φ_0 и границы $\Gamma = \bigcup_{i=1}^m \Gamma_i$, состоящей из поверхностей Γ_i . Граница области может быть незамкнутой и неодносвязной, практически произвольной формы и представляться в параметрическом виде.

Описание входных данных для решения задач оптимизации должно включать:

- информацию об исходной конфигурации прибора, формулировку краевой задачи расчета поля;
- определение структурных параметров границы и краевых условий с указанием допустимых типов вариаций;
- задание минимизируемого функционала;
- описание функциональных ограничений типа равенства либо неравенства и локальных ограничений на переменные;
- указание на предпочтительный алгоритм оптимизации.

Та часть языка, которая предназначена для описания краевых задач, является незначительным расширением функциональных возможностей языка СЕЗАМ, описанного в работе [2]. По этой причине мы упомянем ее весьма кратко. Информация о краевой задаче включает описание концевых точек прямых, дуг окружностей или эллипсов, их центров, граничных условий, симметрии задачи, топологии границы расчетной области, системы физических единиц пользователя, параметров дискретизации задачи, формы выходных данных и архивного задания. Допускается поточечное задание границы или отдельных ее частей, аппроксимируемых интерполяционным сплайном. Предусмотрен алгоритм автоматического разбиения границы при дискретизации краевой задачи.

Для определения структурных параметров необходимо указать, какие именно элементы границы или краевых условий разрешается варьировать и каким образом. Учитывая технологические особенности изготовления ЭОС, разумно ограничиться простейшими вариациями типа СДВИГ, РАСТЯЖЕНИЕ — СЖАТИЕ, ПОВОРОТ, ВАРЬИРОВАНИЕ РАДИУСОВ СФЕРИЧЕСКИХ ОБРАЗУЮЩИХ. Для поточечно заданной границы, аппроксимируемой сплайном, координаты каждой точки являются отдельным варьлируемым параметром. При варьировании граничных

условий функция φ_0 может быть представлена в виде линейной комбинации базисных функций

$$\varphi_0 = \sum_{s=1}^l C_s \Psi_s. \quad (7)$$

В таком случае варьируемыми параметрами могут быть коэффициенты разложения C_s . В простейшей ситуации, когда потенциал проводящей поверхности является константой $\varphi_0 = U_0$, варьируемой величиной становится значение U_0 . Информация, определяющая структурные параметры, использует ссылки на элементы описания краевой задачи, т. е. на точки границы и граничные условия.

В общем случае вид минимизируемого функционала представляется следующим образом:

$$F_0(\mathbf{u}, \varphi) = \sum_{p=1}^q W_p \chi_p(\mathbf{u}, \varphi), \quad (8)$$

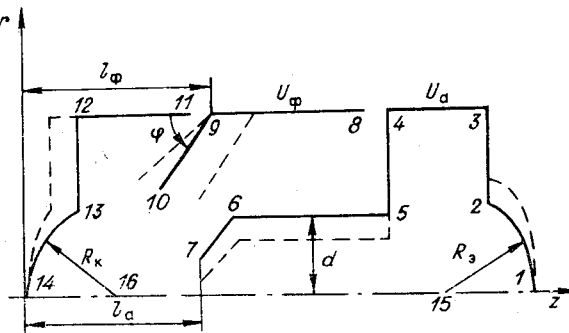
где W_p — весовые коэффициенты или «степень значимости данного критерия качества», а χ_p — либо из заданного набора имеющихся в системе стандартных функционалов, либо нестандартный функционал, описываемый в подпрограмме пользователя. Стандартными в задачах оптимизации изображающих ЭОС являются элементы гауссовской оптики (увеличение, положение плоскости Гаусса и кроссовера), коэффициенты геометрических aberrаций 3-го порядка (сферическая aberrация, кома, дисторсия, кривизна, астигматизм), коэффициенты хроматических aberrаций 2-го и 3-го порядков, разрешение в центре и на краю, на заданном расстоянии от оси симметрии, а также степень равномерности разрешения по полю изображения. Модульный принцип организации системы ТОПАЗ позволяет с достаточной легкостью расширять подобный стандартный набор функционалов. Функциональные ограничения могут иметь такую же форму представления, как и функционал (8).

В состав системы ТОПАЗ входит библиотека модулей, реализующая алгоритмы минимизации функций многих переменных стандартными методами: Ньютона — Рафсона, проекции градиента, последовательной линеаризации, модифицированной функции Лагранжа. Анализ размерности задачи оптимизации, а также ограничений того или иного вида позволяет автоматически выбирать наиболее подходящий алгоритм, основываясь на опыте, накопленном разработчиками. Однако имеется возможность явного указания предпочитаемого метода оптимизации. В этом случае осуществляется элементарная проверка возможности использования данного метода на основе анализа входных данных. Так, например, метод Ньютона — Рафсона запрещается использовать при наличии функциональных ограничений.

Некоторые аспекты программной реализации. Ввиду ограниченности объема публикации мы не можем привести здесь полное формальное описание языка ЭЗОП, а осветим лишь основные концепции и проиллюстрируем возможности языка на примерах. Транслятор с ЭЗОПа написан на языке АЛГОЛ-ГДР мониторной системы «Дубна» БЭСМ-6. Анализ входной информации осуществляется на основе идентификации операторов языка с помощью ключевых слов, среди которых выделим следующие: ТОЧКИ, ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ, КОНТУР, СИММЕТРИЯ, КВАДРАТУРЫ, РАЗБИЕНИЯ, ПЕЧАТЬ, ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ, АРХИВ, СТРУКТУРНЫЕ ПАРАМЕТРЫ, МИНИМИЗИРОВАТЬ, ПРИ ОГРАНИЧЕНИЯХ, ПАРАМЕТРЫ ТРАЕКТОРИЙ, СПЛАЙН, МЕТОД.

Первые 9 операторов достаточно подробно описаны в [2]. Упомянем лишь, что язык управления данными, описываемый оператором АРХИВ, позволяет записывать задачи на внешние носители, считывать, модифицировать данные, организовывать банки тестов и осуществлять много-

фазную последовательность расчетов с записью промежуточных результатов в архив данных. Все ключевые слова распознаются по первым 4 символам. Порядок следования операторов совершенно произвольный. Любые из операторов, кроме первых трех, могут отсутствовать. В таком случае описываемая ими информация определяется принципом умолчания. Так, например, при отсутствии всех операторов описания параметров оптимизации по умолчанию считается описанной специальная тестовая задача «сферический конденсатор». При описании структурных параметров тип вариации распознается по ключевым словам: СДВИГ, РАСТЯЖЕНИЕ, СЖАТИЕ, ПОВОРОТ, КАТОД, ЭКРАН, СЕТКА, СПЛАЙН, СФЕРИЧЕСКИЙ КОНДЕНСАТОР, U. Ключевое слово U обозначает вариацию граничных условий.



Стандартные функционалы имеют словесное и мнемоническое обозначения. Например, можно записать «МИНИМИЗИРОВАТЬ: ДИСТОРСИЮ», а задачу типа (8) сформулировать следующим образом: «МИНИМ: $0.75E + 0.25D$ * ПРИ: $4.2 \leq ZC \leq 6.8$; $X8 \geq 0$; $M = -3.1$; $0.8F + 0.2G \leq 0.001$ *».

В данном случае необходимо минимизировать коэффициенты дисторсии E и кривизны D при наличии функциональных ограничений на положение кроссовера ZC, коэффициенты комы F и G, локального ограничения на переменную X8. При этом необходимо выдерживать заданную величину электронно-оптического увеличения M.

Параметры траекторий суть шаг и интервал интегрирования, положение эмиттера, сетки и экрана, точность счета и некоторые другие параметры. Оператор СПЛАЙН указывает диапазон номеров точек, описанных оператором ТОЧКИ, на которых строится интерполирующий сплайн. Указание на метод оптимизации может быть, например, такого вида: «МЕТОД: ПРОЕКЦИИ ГРАДИЕНТА».

Приведем пример описания задачи оптимизации параметров ЭОС, изображенной на рисунке, на входном языке ЭЗОП. В данном случае варьируемыми параметрами являются радиус катода R_k , расстояние катод — фокусирующий электрод l_ϕ , угол ϕ , расстояние анод — катод l_a , радиус анодного цилиндра d , радиус экрана R_3 , потенциалы анода U_a и фокусирующего электрода U_ϕ .

Текст на входном языке имеет следующий вид:

/* ИЗДЕЛИЕ СЕРИИ КАЙМАН */

ТОЧКИ: (0,10); (2,9); (4,9); (4,8); (1.7,8); (1.7,6); (8,5.5); (4,7); (4,5); (2,4);
КАТОД: (4,4); (4,2); (3,2); (0,0); (0,3); (0,7) * КОНТУР: 1/(1,2,15,3,
4, 5, 6, 7); 2/(8, 9, 10); 3/(11, 12, 13, 14,16) * ГРАН. УСЛ: $U = 15000$;
 $U = 250$; $U = 0$ *
ОПТИМИЗИРОВАТЬ: ДИСТОРСИЮ; ПРИ: $M = -1.7$, $ZG \leq 16.3$, $0.8 \leq$
 $\leq X2 \leq 2.3$, $ABS (F + G) \leq 0.05$ * СТРУК. ПАРАМЕТРЫ: КАТОД:
(13, 14); РАС: (8, 9), СДВ: (9, 10); ПОВ: (9, 10); СЖ: (5, 6), СД: (6, 7);
СД: (5, 6, 7); ЭКРАН: (1, 2); U: (8, 9, 10); U: (1-7);;

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов В. Я. Автоматизация машинного проектирования приборов электроники. — Препринт № 40. Новосибирск, изд. ВЦ СО АН СССР, 1977.
2. Иванов В. Я. Входные языки системы ТОПАЗ. — Препринт № 154. Новосибирск, изд. ВЦ СО АН СССР, 1979.

Поступила в редакцию 26 июня 1979 г.