

В. А. САРАЕВ

Введение

В конце 1950-х – начале 1960-х гг. физики-теоретики и математики ВНИИЭФ пришли к выводу, что для лучшего понимания характера протекающих при работе специзделий процессов необходимо разрабатывать численные методы и создавать программы для решения на ЭВМ двумерных задач, моделирующих газодинамическое движение с учетом распространения излучения в диффузионном приближении, возбуждения и распространения детонационных волн и, возможно, других физических явлений.

К этому времени уже были созданы методы и программы для решения двумерных задач газовой динамики и распространения излучения в неподвижных геометриях для ЭВМ «СТРЕЛА». Проводились двумерные расчеты задач газовой динамики по программе «Д», созданной в секторе 8 ВНИИЭФ Н. А. Дмитриевым, Е. В. Малиновской, И. Д. Софроновым, и двумерные расчеты распространения излучения в неподвижных геометриях по программам типа «И», созданных в ИПМ АН СССР и существенно усовершенствованных в отделении 08 ВНИИЭФ.

В предвидении появления новых типов ЭВМ было решено начать работы по разработке методов и созданию программ для решения двумерных задач газовой динамики с теплопроводностью и другими физическими процессами.

Было проведено довольно много совещаний, на которых рассматривались возможные подходы решения этой проблемы. Так, весной 1960 г. состоялось заседание постоянно действующего

производственного совещания, на котором оценивалось возможное время решения по явным схемам типичных для института двумерных задач газодинамики с теплопроводностью на ЭВМ «М-20». В совещании принимали участие С. А. Авраменко, Н. А. Дмитриев, И. Д. Софронов, В. Е. Трощиёв, В. Г. Подвальный, К. Э. Семендяев и другие.

Основной доклад был представлен И. Д. Софроновым и В. Е. Трощиёвым. По результатам обсуждения был сделан вывод о нецелесообразности применения простейшей явной разностной схемы для решения двумерного уравнения теплопроводности.

В мае 1963 г. в секторе 8 ВНИИЭФ был создан отдел 90, перед которым в качестве основных были поставлены задачи: разработать методы, создать необходимые программы и организовать счет двумерных задач газовой динамики с теплопроводностью и другими процессами в объемах, необходимых для удовлетворения первоочередных потребностей института в таких расчетах. Начальником отдела был назначен Владимир Львович Загускин. Он же предложил принципы, которые были положены в основу создаваемых программ. В это же время во ВНИИТФ также разворачивались работы, направленные на решение аналогичных задач.

Для решения поставленных задач в отделе 90 была образована группа в составе: В. Л. Загускин, Г. С. Драницын, В. Е. Кондрашов, Ю. В. Лукашевич, В. А. Сараев.



В. Л. Загускин



Г. С. Драницын



В. Е. Кондрашов



Ю. В. Лукашевич



В. А. Сараев

В это время в секторе 8 появились ЭВМ «М-20» с оперативной памятью 4096 48-рядных ячеек, что было явно недостаточно для хранения программ и числовой информации для содержательных задач. Поэтому было принято решение, не дожидаясь появления ЭВМ с увеличенной оперативной памятью, удвоить оперативную память ЭВМ «М-20» силами сотрудников технических отделов.

К моменту создания отдела В. Л. Загускиным была проделана значительная подготовительная работа, в результате которой, по-видимому, у него сложилось мнение о методах решения поставленных задач.

Работы по разработке методов, алгоритмов и созданию программ всегда поддерживались руководством ВНИИЭФ и сектора 8. Большое влияние на выбор направлений работ оказывали ведущие сотрудники теоретических секторов 1 и 2 ВНИИЭФ. Особенно большое влияние на весь ход работ оказал член-корреспондент АН СССР Ю. Н. Бабаев.

Создание программы Σ на ЭВМ «М-20»

Для размещения числовых данных задач В. Л. Загускин предложил применить принцип разбиения области решения задачи на счетные подобласти, такие, чтобы информация, необходимая для решения систем неявных разностных уравнений, аппроксимирующих задачу в каждой подобласти, могла уместиться в отведенную для числовой информации часть оперативной памяти. Во время счета одной области данные для остальных областей должны были находиться во внешней оперативной памяти (на магнитных барабанах или лентах). Влияние подобластей друг на друга предполагалось учитывать с помощью внутренних граничных условий.

Организация счета по областям потребовала разработки способов передачи информации между областями и их обоснования. В. Л. Загускин предложил конкретные виды граничных условий между счетными подобластями. Эти условия были исследованы им совместно с В. Е. Кондрашовым для одномерного случая. В результате были получены необходимые условия устойчивости предложенной схемы передачи граничных условий. Численные исследования на одномерных расчетах показали, что эти условия являются достаточно точными. В. А. Сараевым была исследована другая схема передачи гранич-

ных условий, в результате чего удалось ослабить полученные В. Л. Загускиным и В. Е. Кондрашовым условия. Позже был предложен и исследован ряд других схем, в которых ослаблялись ограничения на устойчивость и повышалась их точность (О. А. Винокуров, В. А. Сараев и др.). Многочисленные одномерные расчеты показали, что рассмотренные способы передачи граничных условий обеспечивают удовлетворительную точность. Принцип разбиения задачи на счетные подобласти оказался весьма плодотворным и нашел применение во многих программных комплексах. Преимуществом такого подхода является то, что в каждой подобласти можно строить наиболее подходящую для нее сетку, учитывать только те процессы, которые существенны в подобласти, выбирать в каждой подобласти шаги по времени, необходимые для обеспечения устойчивости и точности.

Было известно, что при решении многих двумерных задач газовой динамики хорошо зарекомендовало себя использование лагранжевых разностных сеток, движение которых связано с движением вещества. Однако использование таких сеток в двумерных задачах со сложными течениями может приводить к вырождению или самопересечению ячеек сетки и, как следствие, к потере точности или невозможности продолжать расчет. Поэтому В. Л. Загускин предложил ввести возможность перестроения сетки в процессе счета и переинтерполяции величин с одной сетки на другую. Возможность такого подхода к решению задач газодинамики проверялась на одномерных задачах В. А. Сараевым. Эти расчеты показали, что при некоторых простых способах перестроения сеток можно получать удовлетворительные результаты.

В это время для численного решения сложных многомерных задач получали распространение различные методы расщепления (по на-



С. М. Бахрах



О. А. Винокуров



В. Г. Гамов

правлениям, по физическим процессам). Было решено в создаваемых программах стараться использовать эти методы.

К осени 1964 г. в основном были закончены методические работы, которые позволяли надеяться на возможность создания работоспособной программы для решения двумерных задач газовой динамики с теплопроводностью на ЭВМ «М-20» с оперативной памятью 8192 48-рядных ячеек, позволяющей проводить расчеты с разбиением на подобласти, содержащие до 500 счетных точек. В то же время было件件но, что это будет программа с ограниченными возможностями.

Было решено систему уравнений расщепить на систему двумерных уравнений газодинамики и двумерное уравнение теплопроводности. Для решения системы уравнений газодинамики применить схему Д, добавив возможность перестроения сеток и переинтерполяции величин на каждом шаге по времени. Принято было ограничиться двумя простыми алгоритмами построения новых сеток: равномерными по расстоянию и по массе вдоль линий сетки. Для решения двумерного нелинейного уравнения теплопроводности было предложено применить линеаризованную девятиточечную неявную разностную схему. Получающиеся при этом системы линейных уравнений решать методом итераций. Было написано задание на программирование, в соответствии с которым велась дальнейшая работа. Авторы задания на программирование: В. Л. Загускин, В. А. Сараев, Г. С. Драницын, А. А. Опарин, Ю. А. Лукашевич, Л. В. Дмитриева.

Программу решено было назвать Σ , что отражало факт разбиения большой задачи на сумму более мелких.

Для создания программы был выбран язык АЛГОЛ-60, для которого к тому времени в ИПМ

АН СССР уже был создан транслятор. Отдельные части программы создавали: В. Е. Кондрашов (программа расчета начальных данных), Г. С. Драницын (программы решения двумерных уравнений газовой динамики и теплопроводности), Ю. В. Лукашевич (система уравнений состояния и пробегов (УРС)), А. А. Опарин (перестроение сеток и переинтерполяция величин), В. А. Сараев (программа передачи граничных условий и ведущая программа, организующая счет). Общее руководство работами осуществлял В. Л. Загускин.

В 1964–1965 гг. группу разработчиков программы Σ дополнили сотрудники: С. М. Бахрах, О. А. Винокуров, В. Г. Гамов, О. Гоголадзе, А. А. Опарин, В. В. Рассказова, Н. А. Рябикина, И. Д. Шиндерман. Все они сразу же включались в работу. Знакомились с методиками, проводили методические расчеты, программировали отдельные части программы Σ , участвовали в ее отладке. Заметный вклад в создание и отладку программы внесли: О. А. Винокуров, А. А. Опарин, Н. А. Рябикина.

Комплексная отладка программы Σ была завершена весной 1965 г. Тогда же был начат производственно-методический счет, в котором принимали участие практически все сотрудники группы. Следует отметить, что счет в тот период требовал поистине героических усилий, так как ламповые ЭВМ «М-20» работали неустойчиво, особенно ЭВМ с увеличенной вдвое оперативной памятью. Для надежности приходилось делать два просчета каждого шага и продолжать расчет только при совпадении результатов двух запусков. Положение изменилось к лучшему с появлением полупроводниковых ЭВМ «БЭСМ-3», «БЭСМ-4», работавших практически безотказно.

У большинства сотрудников группы не было опыта счета, а опыта счета двумерных задач не было ни у кого. В процессе работы выявлялись

некоторые недостатки в алгоритмах и программах. Приходилось оперативно принимать решения по их устранению и сразу же проверять их в расчетах. Постоянно возникала необходимость расширения возможностей программы.



А. А. Опарин



В. В. Рассказова



Н. А. Рябикина



И. Д. Шиндерман

Поэтому большинству сотрудников приходилось работать, не считаясь с затратами времени. Этому способствовали благоприятная атмосфера в группе, постоянный обмен знаниями и опытом, взаимопомощь.

В 1966 г. встал вопрос о необходимости введения возможности счета по программе Σ двумерных задач с учетом переноса нейтронов в диффузионном приближении, кинетики ядерных реакций и энерговыделением. Организация программы позволяла решить эту задачу с не очень большими затратами. Для реализации такой возможности нужно было приспособить программу решения уравнения теплопроводности для решения уравнения переноса в диффузионном приближении, ввести счет системы уравнений кинетики ядерных реакций, учесть предусмотренный диффузионным приближением скачок нейтронной плотности при переходе из одной среды в другую, дополнить библиотеку УРС коэффициентами диффузии и константами для уравнений кинетики.

К концу 1966 г. все необходимые изменения в программы были внесены и проведен одномерный расчет, результаты которого с хорошей точностью совпали с результатами расчета по одномерной программе. Затем проведено два существенно двумерных расчета. Эти работы были выполнены О. А. Винокуровым, В. Е. Кондрашовым, В. А. Сараевым.

Счет по программе Σ проводился до 1968 г. Всего по ней было проведено 30 двумерных расчетов, среди которых несколько расчетов были на пределе возможностей программы. По результатам ряда расчетов получены некоторые интересные эффекты, но главное их значение состояло в том, что был накоплен опыт решения таких задач, выявлены положительные и отрицательные стороны программы, что необходимо было учесть при создании программ на новых ЭВМ «БЭСМ-6», которые начали поступать в математический сектор ВНИИЭФ в конце 1966 г.

Создание комплекса «СИГМА» на ЭВМ «БЭСМ-6»

Работы по созданию программ для решения двумерных задач газовой динамики с учетом теплопроводности и других физических процессов на ЭВМ «БЭСМ-6» начались в 1967 г. под руководством В. Л. Загускина. К этому времени был расформирован отдел 90. Сотрудники, создававшие

программу Σ , составили ядро отдела 100. Пришли и новые – М. В. Баталова, В. Н. Горбунов, Г. В. Жарова, А. И. Калманович, Л. Я. Прохорова, Л. Н. Смирнова.

Все они успели получить навыки решения двумерных задач по программе Б и одномерных задач по программе σ – одномерном аналоге программы, созданной ранее в отделе 90 С. М. Бахрахом, В. Г. Гамовым, Ю. В. Лукашевичем, В. В. Рассказовой, В. А. Сараевым, И. Д. Шиндерманом.

На основе опыта, приобретенного при создании и эксплуатации программы Σ , были сформулированы требования к новой программе:

- возможность решения задач с достаточно сложной начальной, промежуточной и конечной геометрией;
- учет в отдельных частях системы только тех процессов, которые существенны в них;
- широкий набор алгоритмов построения и перестроения сеток;
- блочный принцип организации вычислений с простым способом замены блоков;
- наличие программы для выполнения намеченной тактики счета задачи;
- максимальная автоматизация вмешательства в процесс проведения расчета;
- возможность обработки и вывода результатов счета;
- расширение функции системы УРС;
- модификация методов и алгоритмов решения уравнений газодинамики и теплопроводности с учетом опыта эксплуатации программы Σ .

Ввиду отсутствия на момент начала работ на ЭВМ «БЭСМ-6» трансляторов с языков программирования высокого уровня было решено создавать программы в кодах ЭВМ «БЭСМ-6».

Намеченная программа реализовывалась с 1967 по 1969 г. под руководством В. Л. Загускина.



М. В. Баталова



В. Н. Горбунов



Г. В. Жарова

гускина. В той или иной степени в ее реализации принимали участие практически все сотрудники отдела 100, а также ряд сотрудников отдела 89.

Для решения задач со сложной геометрией нужна была соответствующая программа расчета начальных данных (РНД). Существенным моментом при создании подобных программ является состав и форма задания информации. После обсуждения этих вопросов на семинаре отдела В. Н. Горбунов, Л. Я. Прохорова, Н. А. Рябикина предложили конкретный состав и цифровую форму задания информации к программе РНД, позволявшие задавать сколь угодно сложные начальные геометрии, составы веществ, способы разбиения задачи на счетные подобласти, способы задания внешних и внутренних граничных условий. Большое значение имело введение понятия необязательной информации, что позволяло для каждой задачи задавать только необходимую для нее информацию. Программа РНД создавалась В. Н. Горбуновым, Л. Я. Прохоровой, Н. А. Рябикиной. Общая длина этой программы около 30000 команд.

В связи с тем, что задание информации в цифровом виде было неудобно, особенно для сложных задач, было решено разработать специализированный язык (язык РНД) для задания информации к расчету начальных данных и сделать транслятор с этого языка на созданный ранее цифровой язык. Язык РНД был разработан В. Н. Горбуновым, Л. Я. Прохоровой, Н. А. Рябикиной совместно с сотрудниками отдела 89 М. И. Каплуновым, Л. Д. Крюковой, Н. В. Шуминой. Транслятор с языка РНД в цифровую форму задания информации был создан в отделе 89 под руководством М. И. Каплунова.

В связи с расширением допустимых геометрий существенно усложнялись алгоритмы передачи внутренних граничных условий, до-

пускалось соседство одной счетной области с несколькими счетными областями по одной границе (в программе Σ допускалось соседство по одной границе только с одной областью). Программа передачи граничных условий была создана О. А. Винокуровым.

Были внесены изменения в методику Д решения двумерных уравнений газовой динамики, главным из которых было введение оператора сглаживания поля скоростей, разработанного В. Л. Загускиным и И. Д. Шиндерманом. Программа счета двумерной газодинамики была написана И. Д. Шиндерманом.

Существенные изменения внесены в алгоритмы решения двумерного уравнения теплопроводности с целью ускорения сходимости итераций при решении линеаризованной системы алгебраических уравнений, возникающих при аппроксимации двумерного нелинейного уравнения теплопроводности. Программу решения уравнения теплопроводности написала Г. В. Жарова.

Для реализации возможности управления расчетами была создана программа «Диспетчер», которая должна была последовательно выполнять определенные «приказы», отражающие тактику счета. Программы последовательного счета областей, выбора подпрограмм для обчета нужных процессов, подготовки граничных условий, вычисления шага по времени и программа «Диспетчер» были написаны В. Л. Загускиным и Г. В. Долголёвой, которая перешла в отдел 100 в январе 1968 г.

В программе построения сеток существенно увеличилось число допустимых алгоритмов перестроения сеток. Программа перестроения сеток написана Л. Н. Смирновой (Ивановой) и отлажена совместно с С. М. Бахрахом.

В алгоритмах переинтерполяции величин с одной сетки на другую было уделено внимание

вопросам монотонности и выполнению законов сохранения. Программа переинтерполяции величин была написана А. И. Калмановичем и отлаживалась им совместно с С. М. Бахрахом и М. В. Баталовой. Существенной переработке под-



А. И. Калманович



М. И. Каплунов



Г. В. Долголева



Н. П. Ковалев

верглась организация системы УРС. Ее организация была разработана Ю. В. Лукашевичем и программировалась Н. П. Ковалевым и А. А. Шаниным.

Программа вывода результатов была написана и отлажена В. Г. Гамовым.

К осени 1969 г. программирование и отладка в основном были закончены. Совокупность созданных программ решили назвать комплекс «СИГМА».

В 1970 г. В. Л. Загускин решил покинуть должность начальника отдела и его заменил В. А. Сараев.

За период использования программного комплекса «СИГМА», начиная с 1969 г., было проведено порядка 10000 двумерных расчетов различной сложности.

Возможности комплекса постоянно расширялись. Вводился учет разнообразных физических явлений, совершенствовались разностные схемы и алгоритмы, реализующие их.

В связи с большими объемами информации, которую необходимо было накапливать и хранить при массовом счете двумерных задач по программам комплекса «СИГМА», возникла настоятельная необходимость автоматизации процессов накопления и поиска информации. На базе архивных систем отделения 08 было создано несколько архивных систем в комплексе «СИГМА», что значительно облегчило процессы накопления, поиска и обработки информации. Работы по созданию этих систем в основном были выполнены В. Н. Горбуновым и И. В. Деминым.

Осваивались методы распараллеливания вычислений на несколько ЭВМ. Создавались программы для обмена информацией между другими комплексами, функционирующими в математическом отделении ВНИИЭФ.

В развитие комплекса «СИГМА» большой вклад внесли: С. М. Бахрах, М. В. Баталова, Ю. А. Бондаренко, О. А. Винокуров, В. Н. Горбунов, Е. В. Губков, И. В. Демин, В. В. Змушко, М. И. Каплунов, Н. П. Ковалев, И. Н. Павлуша, Н. А. Рябикина, В. А. Сараев, Г. П. Симонов, Л. Н. Смирнова (Иванова), А. М. Стенин, В. Ф. Спиридонов, В. И. Тарасов, Л. Я. Трофимова (Прохорова), А. А. Шанин, И. Д. Шиндерман, Ю. В. Янилкин.

На модернизацию комплекса «СИГМА» постоянное влияние оказывали растущие потребности подразделений ВНИИЭФ в двумерных расчетах, а также большой поток расчетов, которые требовалось провести в сжатые календарные сроки.

В налаживании массового счета по программам комплекса «СИГМА», а значит и в его развитии, наряду с перечисленными выше сотрудниками, участвовали: В. А. Андронов, К. Н. Барышников, Н. А. Бондаренко (Харитонova), Е. С. Гаврилова, Д. В. Гладилина, Ю. Ф. Данилов, В. А. Жирнов, Л. Я. Игнатова, Л. Ф. Потапкина (Тепалева), М. С. Самигулин, П. А. Сметанин.

Большую работу при проведении расчетов и оформлении результатов выполнили техники и лаборанты: Е. А. Васькина, Н. П. Ельцова, Л. Е. Корзакова, А. М. Кузнецова, М. Г. Лакеева, Т. Н. Левкина, Н. Н. Максакова, Г. М. Надежина, Т. Н. Оськина, Н. А. Пушкова, Л. М. Родина, Л. В. Софинская, Е. Н. Спиридонова, Н. В. Татынова, В. В. Трощиёва, А. П. Чураева.

С появлением новых поколений ЭВМ типа «Эльбрус» большинство разработок, реализованных в комплексе «СИГМА», нашли свое воплощение в комплексе «МИМОЗА».

Этот комплекс был создан в конце 1980-х гг. на языке программирования ФОРТРАН. В нем снова был учтен положительный и отрицательный опыт использования в расчетах комплекса «СИГМА», на более высоком уровне созданы программы обработки результатов счета и их вывода. Введена возможность решения некоторых классов трехмерных задач.

По результатам работ в разработке методов и создании программ в рамках комплексов «СИГМА» и «МИМОЗА» защищено 9 кандидатских и одна докторская диссертация, 6 сотрудников удостоены звания лауреата Государственной премии СССР и Российской Федерации. Сотрудниками опубликовано значительное число работ в открытой печати.

САРАЕВ Вадим Александрович –

доктор физ.-мат. наук, начальник отдела
в математическом отделении РФЯЦ-ВНИИЭФ
с 1970 по 1995 г.