

от типа машины (но не зависит от той конкретной задачи, которая должна быть сосчитана).

Введение таких формальных языков и программ-трансляторов позволяет значительно сократить трудоемкую и кропотливую работу по программированию.

§ 4. Некоторые вопросы организации работы на УЦВМ

1. Условия, определяющие эффективность применения УЦВМ.

Как уже говорилось выше, для решения на УЦВМ той или иной задачи должна быть составлена отвечающая этой задаче программа, т. е. указана в соответствующем коде последовательность тех элементарных операций, к которой сводится задача. Если бы число отдельных команд в программе было таким же, как и число тех операций, которые необходимы для решения данной задачи, то применение УЦВМ было бы лишено всякого смысла, так как при этом составление программы занимало бы не меньше времени, чем выполнение всех расчетов вручную. Однако при решении всякой задачи отдельные циклы операций приходится повторять несколько, а иногда и очень много раз (мы видели это уже на таких простых примерах, как программа извлечения квадратного корня; в еще большей степени это относится к более сложным задачам). Поэтому число команд в программе (разумно составленной) во много раз меньше числа операций, выполняемых по этой программе машиной. Особенно эффективно применение УЦВМ в тех задачах, где приходится многократно повторять вычисления с различными данными, но по одной и той же схеме. С другой стороны, существуют и такие задачи, в которых применение УЦВМ оказывается неэффективным из-за того, что они при сравнительно небольшом объеме счета требуют для решения их на УЦВМ составления длинной и громоздкой программы.

Умение правильно решить вопрос о целесообразности применения УЦВМ для той или иной конкретной задачи — первое условие рационального использования вычислительной техники.

2. Основные этапы решения задачи с применением УЦВМ.

Решение той или иной прикладной задачи с помощью УЦВМ складывается из следующих основных этапов.

1) *Математическая формулировка задачи.* Всякая задача, предназначенная для численного ее решения на УЦВМ, должна быть прежде всего четко сформулирована именно как математическая задача. Иначе говоря, та физическая, техническая или какая-либо другая проблема, которая подлежит решению, должна быть представлена как задача о решении каких-либо уравнений, вычислении интегралов и т. п. Следует иметь в виду, что этот этап работы, требующий обычно совместной работы физиков или инженеров,

разрабатывающих данную проблему, и математиков-вычислителей, представляет собой часто значительные трудности. Для успешного преодоления их необходимо, с одной стороны, знакомство математиков с физическим или техническим существом тех задач, численным решением которых они занимаются, а с другой — знание «заказчиком», хотя бы в общих чертах, тех методов и возможностей, которыми располагает вычислительная математика.

2) *Численный анализ задачи* (выбор алгоритма). Вычислительная машина непосредственно не может оперировать такими понятиями, как решение уравнения, интеграл, функция и т. д., с помощью которых мы обычно формулируем ту или иную задачу. Поэтому для перевода уже сформулированной задачи на язык, доступный машине, мы должны для каждой операции (интегрирование, дифференцирование, решение уравнения и т. д.) подобрать соответствующий численный метод. Например, вычисление производной заменяется нахождением соответствующего разностного отношения, интегралы считаются с помощью тех или иных приближенных методов (формула трапеций, формула Симпсона и т. п.), в которых приходится выполнять лишь некоторую последовательность арифметических операций, и т. д. Ясно, что для решения одной и той же математической задачи можно пользоваться различными численными приемами. Выбор наиболее рациональных методов счета во многом определяет эффективность решения задачи с помощью УЦВМ.

3) *Составление программы*. После того как закончен численный анализ задачи, т. е. для каждого ее этапа подобран соответствующий алгоритм, сводящийся к некоторой последовательности элементарных операций, приступают к составлению программы. Для одной и той же задачи, даже при одном и том же выборе численных методов ее решения, программа может быть составлена далеко не единственным образом. Выбор наиболее рационального пути программирования, наилучшего использования объема памяти и других возможностей машины требует от лица, составляющего программу, опыта, знания типа той вычислительной машины, на которой будет происходить счет, а также известной изобретательности.

4) *Выполнение вычислений и анализ результатов*. После того как программа счета полностью подготовлена, выполнение вычислений на правильно работающей машине представляет собой довольно стандартную процедуру. Ее часто выполняет оператор, который может и не быть знаком со всей задачей в целом.

3. Методы предупреждения и обнаружения ошибок счета. Проведение сложных вычислительных работ на УЦВМ бывает связано с выполнением миллионов элементарных операций. При этих условиях обеспечение безошибочного счета представляет собой достаточно сложную задачу. Причины ошибок могут быть различны. Прежде всего необходимо обеспечить правильность самой программы, так как

искажение или пропуск хотя бы одной команды в программе приводит, как правило, к тому, что весь счет оказывается или вовсе невозможным, или приводит к совершенно неверным результатам. Поэтому каждая программа должна быть до начала счета тщательно проверена. Процесс проверки и исправления программы называется ее *отладкой*. Иногда для отладки программы прибегают к следующему приему: проделав какой-то этап вычислений вручную, сравнивают полученный результат с результатом такого же счета на машине. Существуют и другие систематические методы обнаружения ошибок в программе, но мы не будем на них останавливаться.

Далее, для правильности счета необходимо обеспечить правильность работы самой машины. Основной метод проверки работы машины — это решение на ней стандартных задач (тестов) с заранее известными ответами и отлаженной программой. Следует, однако, иметь в виду, что та или иная погрешность в работе машины (сбой) может возникнуть уже в процессе самого счета. Для обнаружения и устранения таких ошибок прибегают часто к двойному счету: тот или иной промежуточный результат вычисляется и запоминается машиной, после чего вычисления повторяются еще раз. Получив таким образом два раза один и тот же результат, машина автоматически переходит к следующему этапу вычислений.

Наконец, еще один возможный источник неправильностей в счете — это накопление ошибок при округлениях. Наличие в машине определенного фиксированного числа разрядов ограничивает возможную точность счета, поскольку все числа мы вынуждены округлять с точностью до единицы последнего разряда. Эти ошибки округления при выполнении большого количества операций могут накапливаться и в результате, без всяких погрешностей в программе или в машине, приводить к ошибкам, во много раз превышающим погрешности исходных данных.

Существуют различные методы повышения точности счета на УЦВМ. Например, можно в случае необходимости записывать все числа с удвоенным количеством знаков, отводя для записи каждого числа не одну ячейку памяти, а две.
