

В серии:

Библиотека ALT Linux

Программирование на языке C++ в среде Qt Creator

Е. Р. Алексеев, Г. Г. Злобин, Д. А. Костюк,
О. В. Чеснокова, А. С. Чмыхало

Москва
ALT Linux
2014

УДК 004.43

ББК 32.973.26-018.1

A47

Программирование на языке C++ в среде Qt Creator:
A47 / Е. Р. Алексеев, Г. Г. Злобин, Д. А. Костюк, О. В. Чеснокова,
А. С. Чмыхало — М. : ALT Linux, 2014. — 169 с. : ил. — (Библиотека ALT Linux).

ISBN 978-5-905167-16-4

Книга является учебником по алгоритмизации и программированию на C++ и пособием по разработке визуальных приложений в среде Qt Creator. Также в книге описаны среда программирования Qt Creator, редактор Geany, кроссплатформенная библиотека построения графиков MathGL. При чтении книги не требуется предварительного знакомства с программированием.

Издание предназначено для студентов, аспирантов и преподавателей вузов, а также для всех, кто изучает программирование на C++ и осваивает кроссплатформенный инструментарий Qt для разработки программного обеспечения.

Сайт книги: <http://www.altlinux.org/Books:Qt-C++>

Книга адресована студентам, преподавателям инженерных и математических специальностей, а также научным работникам.

УДК 004.43

ББК 32.973.26-018.1

**По вопросам приобретения обращаться: ООО «Альт Линукс»
(495)662-38-83 E-mail: sales@altlinux.ru <http://altlinux.ru>**

Материалы, составляющие данную книгу, распространяются на условиях лицензии GNU FDL. Книга содержит следующий текст, помещаемый на первую страницу обложки: «В серии “Библиотека ALT Linux”». Название: «Программирование на языке C++ в среде Qt Creator». Книга не содержит неизменяемых разделов. Авторы разделов указаны в заголовках соответствующих разделов. ALT Linux — торговая марка компании ALT Linux. Linux — торговая марка Линуса Торвальдса. Прочие встречающиеся названия могут являться торговыми марками соответствующих владельцев.

ISBN 978-5-905167-16-4

© Е. Р. Алексеев, Г. Г. Злобин,
Д. А. Костюк, О. В. Чеснокова,
А. С. Чмыхало, 2014
© ALT Linux, 2014

Оглавление

Предисловие	5
Глава 1. Знакомство с языком C++	6
1.1 Первая программа на C++	6
1.2 Среда программирования Qt Creator	10
Глава 2. Общие сведения о языке C++	17
2.1 Алфавит языка	17
2.2 Данные	18
2.3 Константы	21
2.4 Структурированные типы данных	22
2.5 Указатели	23
2.6 Операции и выражения	24
2.7 Стандартные функции	35
2.8 Структура программы	37
2.9 Ввод и вывод данных	39
2.10 Задачи для самостоятельного решения	46
Глава 3. Операторы управления	51
3.1 Основные конструкции алгоритма	51
3.2 Составной оператор	53
3.3 Условные операторы	53
3.4 Операторы цикла	77
3.5 Решение задач с использованием циклов	84
3.6 Задачи для самостоятельного решения	104
Глава 4. Использование функций при программировании на C++	124
4.1 Общие сведения о функциях	124
4.2 Передача параметров в функцию	129
4.3 Возврат результата с помощью оператора return	131
4.4 Решение задач с использованием функций	133

4.5	Рекурсивные функции	150
4.6	Перегрузка функций	153
4.7	Шаблоны функций	156
4.8	Область видимости переменных в функциях	157
4.9	Функция <code>main()</code> . Параметры командной строки	158
4.10	Задачи для самостоятельного решения	160
Список литературы		166
Предметный указатель		167

Предисловие

Книга, которую открыл читатель, является с одной стороны учебником по алгоритмизации и программированию на C++, а с другой — пособием по разработке визуальных приложений в среде **QT Creator**. В книге описаны среда программирования **Qt Creator** и редактор **Geany**. При чтении книги не требуется предварительного знакомства с программированием.

В первой части книги (главы 1–9) на большом количестве примеров представлены методы построения программ на языке C++, особое внимание уделено построению циклических программ, программированию с использованием функций, массивов, матриц и указателей.

Вторая часть книги (глава 10) посвящена объектно-ориентированному программированию на C++.

В третьей части книги (главы 11–15) читатель научится создавать кроссплатформенные визуальные приложения с помощью **Qt Creator** и познакомится с библиотекой классов **Qt**.

В книге присутствуют задания для самостоятельного решения.

Приложениях описан текстовый редактор **Geany**, а также кроссплатформенная библиотека **MathGL** предназначена для построения различных двух- и трёхмерных графиков.

Главы 1–9 написаны Е. Р. Алексеевым и О. В. Чесноковой. Автором раздела по объектно-ориентированному программированию является Д. А. Костюк. Главы 11–15, посвящённые программированию с использованием инструментария **Qt**, написаны Г. Г. Злобиным и А. С. Чмыхало.

Авторы благодарят компанию ALT Linux (www.altlinux.ru) и лично Алексея Смирнова и Владимира Чёрного за возможность издать очередную книгу по свободному программному обеспечению.

Глава 1

Знакомство с языком C++

В этой главе читатель напишет свои первые программы на языке C(C++), познакомится с основными этапами перевода программы с языка C++ в машинный код. Второй параграф главы посвящён знакомству со средой Qt Creator.

1.1 Первая программа на C++

Знакомство с языком C++ начнём с написания программ, предназначенных для решения нескольких несложных задач.

Задача 1.1. Заданы две стороны прямоугольника a , b . Найти его площадь и периметр.

Как известно, периметр прямоугольника $P = 2 \cdot (a + b)$, а его площадь $S = a \cdot b$. Ниже приведён текст программы.

```
1 #include <iostream>
2 using namespace std;
3 int main()
4 {
5     float a, b, s, p;
6     cout << "a=" ;
7     cin >> a;
8     cout << "b=" ;
9     cin >> b;
10    p = 2 * (a + b);
11    s = a * b;
12    cout << "Периметр прямоугольника равен " << p << endl;
13    cout << "Площадь прямоугольника равна " << s << endl;
14    return 0;
15 }
```

Давайте построчно рассмотрим текст программы и познакомимся со структурой программы на C++ и с некоторыми операторами языка.

Строка 1. Указывает компилятору (а точнее, препроцессору), что надо использовать функции из стандартной библиотеки `iostream`. Библиотека `iostream` нужна для организации ввода с помощью инструкции `cin` и вывода — с помощью `cout`. В программе на языке C++ должны быть подключены все используемые библиотеки.

Строка 2. Эта строка обозначает, что при вводе и выводе с помощью `cin` и `cout` будут использоваться стандартные устройства (клавиатура и экран), если эту строку не указывать, то каждый раз при вводе вместо `cin` надо будет писать `std::cin`, а вместо `cout` -- `std::cout`.

Строка 3. Заголовок главной функции (главная функция имеет имя `main`). В простых программах присутствует только функция `main()`.

Строка 4. Любая функция начинается с символа `{`.

Строка 5. Описание вещественных (`float`) переменных `a` (длина одной стороны прямоугольника), `b` (длина второй стороны прямоугольника), `s` (площадь прямоугольника), `p` (периметр прямоугольника). Имя переменной¹ состоит из латинских букв, цифр и символа подчёркивания. Имя не может начинаться с цифры. В языке C++ большие и малые буквы различимы. Например, имена `PR_1`, `pr_1`, `Pr_1` и `pR_1` — разные.

Строка 6. Вывод строки символов `a=` с помощью `cout`. Программа выведет подсказку пользователю, что необходимо вводить переменную `a`

Строка 7. Ввод вещественного числа `a` с помощью `cin`. В это момент программа останавливается и ждёт, пока пользователь введёт значение переменной `a` с клавиатуры.

Строка 8. Вывод строки символов `b=` с помощью `cout`.

Строка 9. Ввод вещественного числа `b` с помощью `cin`.

Строка 10. Оператор присваивания для вычисления периметра прямоугольника (переменная `p`) по формуле $2 \cdot (a + b)$. В операторе присваивания могут использоваться круглые скобки и знаки операций: `+` (сложение), `-` (вычитание), `*` (умножение), `/` (деление).

Строка 11. Оператор присваивания для вычисления площади прямоугольника.

¹В литературе равнозначно используются термины «имя переменной» и «идентификатор».

Строка 12. Вывод строки «Периметр прямоугольника равен » и значения `p` на экран. Константа `endl` хранит строку «`\n`», которая предназначена для перевода курсора в новую строку дисплея². Таким образом строка

```
cout << "Периметр прямоугольника равен "<< p << endl;
```

выводит на экран текст "Периметр прямоугольника равен "³, значение переменной `p`, и переводит курсор в новую строку.

Строка 13. Вывод строки "Площадь прямоугольника равна ", значения площади прямоугольника `s`, после чего курсор переводится в новую строку дисплея.

Строка 14. Оператор `return`, который возвращает значение в операционную систему. Об этом подробный разговор предстоит в п. ?? Сейчас следует запомнить, если программа начинается со строки `int main()`, последним оператором должен быть `return 0`⁴.

Строка 15. Любая функция (в том числе и `main`) заканчивается символом `}`.

Мы рассмотрели простейшую программу на языке C++, состоящую из операторов ввода данных, операторов присваивания (в которых происходит расчет по формулам) и операторов вывода.

Любая программа на языке C++ представляет собой одну или несколько функций. В любой программе **обязательно** должна быть одна функция `main()`. С этой функции начинается выполнение программы. Правилom хорошего тона в программировании является разбиение задачи на подзадачи, и в главной функции чаще всего должны быть операторы вызова других функций. Общую структуру любой программы на языке C++ можно записать следующим образом.

```
Директивы препроцессора
Объявление глобальных переменных
Тип_результата f1 (Список_переменных)
{
Операторы
}
Тип_результата f2 (Список_переменных)
{
Операторы
}
```

²Обращаем внимание читателя, что символ пробел является обычным символом, который ничем не отличается от остальных. Для вывода пробела на экран его надо явно указывать в строке вывода.

³С пробелом после слова «равен».

⁴Вообще говоря, вместо нуля может быть любое целое число.

...

```
Тип_результата fn (Список_переменных)
{
Операторы
}
Тип_результата main (Список_переменных)
{
Операторы
}
```

На первом этапе знакомства с языком мы будем писать программы, состоящие только из функции `main`, без использования глобальных переменных. Структура самой простой на C(C++) имеет вид.

```
Директивы препроцессора
Тип_результата main (Список_переменных)
{
Операторы
}
```

Введенная в компьютер программа на языке C++ должна быть переведена в двоичный машинный код (должен быть сформирован исполняемый файл). Для этого существуют специальные программы, называемые трансляторами. Все трансляторы делятся на два класса:

- *интерпретаторы* — трансляторы, которые переводят каждый оператор программы в машинный код, и по мере перевода операторы выполняются процессором;
- *компиляторы* переводят всю программу целиком, и если перевод всей программы прошел без ошибок, то полученный двоичный код можно запускать на выполнение.

Процесс перевода программы в машинный код называется *трансляцией*. Если в качестве транслятора выступает компилятор, то используют термин *компиляция* программы. При переводе программы с языка C++ в машинный код используются именно компиляторы, и поэтому применительно к языку C++ термины «компилятор» и «транслятор» эквивалентны.

Рассмотрим основные этапы обработки компилятором программы на языке C++ и формирования машинного кода.

1. Сначала программа обрабатывается препроцессором⁵, который обрабатывает директивы препроцессора, в нашем случае это ди-

⁵Препроцессор — это программа, которая преобразовывает текст директив препроцессора в форму, понятную компилятору. О данных на выходе препроцессора говорят, что они находятся в препроцессорированной форме.

рективы включения заголовочных файлов (файлов с расширением **.h**) — текстовых файлов, в которых содержится описание используемых библиотек. В результате формируется полный текст программы, который поступает на вход компилятора.

2. Компилятор разбирает текст программ на составляющие элементы, проверяет синтаксические ошибки и в случае их отсутствия формирует объектный код (файл с расширением **.o** или **.obj**). Получаемый на этом этапе двоичный код не включает в себя двоичные коды библиотечных функций и функций пользователя.
3. *Компоновщик* подключает к объектному коду программы объектные модули библиотек и других файлов (если программа состоит из нескольких файлов) и генерирует исполняемый код программы (двоичный файл), который уже можно запускать на выполнение. Этот этап называется компоновкой или сборкой программы.

После написания программы ее необходимо ввести в компьютер. В той книге будет рассматриваться работа на языке C++ в среде **Qt Creator**⁶. Поэтому перед вводом программы в компьютер надо познакомиться со средой программирования.

1.2 Среда программирования Qt Creator

Среда программирования **Qt Creator** (IDE **IDE QT Creator**) находится в репозитории большинства современных дистрибутивов Linux (ОС Linux Debian, ОС Linux Ubuntu, ОС ROSA Linux, ALT Linux и др.). Установка осуществляется штатными средствами вашей операционной системы (менеджер пакетов Synaptic и др.) из репозитория, достаточно установить пакет **qtcreator**, необходимые пакеты и библиотеки будут доставлены автоматически. Последнюю версию IDE **Qt Creator** можно скачать на сайте QtProject (<http://qt-project.org/downloads>). Скачанный установочный файл имеет расширение **.run**. Для установки приложения, необходимо запустить его на выполнение. Установка проходит в графическом режиме. После запуска програм-

⁶Тексты программ, приведённые в первой части книги (главы 1–9), без серьёзных изменений могут быть откомпилированы с помощью любого современного компилятора с языка C(C++). Авторы протестировали все программы из первой части книги с помощью **QT Creator** и **IDE Geany** (с использованием g++ версии 4.8).

мы пользователь увидит на экране окно, подобное представленному на рис. 1.1⁷.

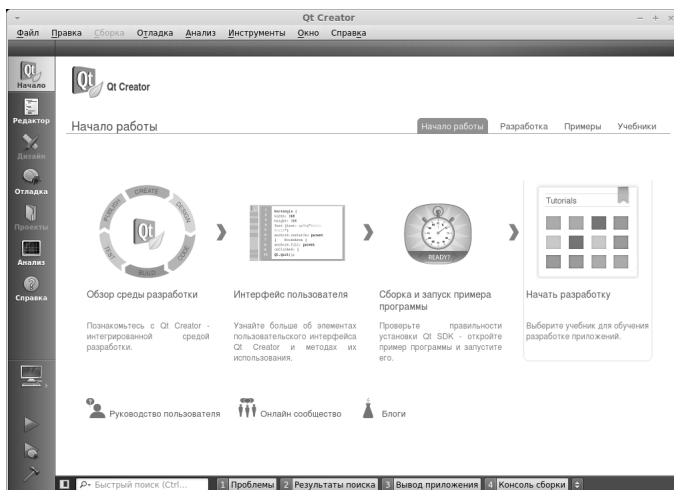


Рис. 1.1. Окно Qt Creator

При работе в Qt Creator вы находитесь в одном из режимов:

1. **Welcome** (Начало) — отображает экран приветствия, позволяя быстро загружать недавние сессии или отдельные проекты. Этот режим можно увидеть при запуске Qt Creator без указания ключей командной строки.
2. **Edit** (Редактор) — позволяет редактировать файлы проекта и исходных кодов. Боковая панель слева предоставляет различные виды для перемещения между файлами.
3. **Debug** (Отладка) — предоставляет различные способы для просмотра состояния программы при отладке;
4. **Projects** (Проекты) — используется для настройки сборки, запуска и редактирования кода.
5. **Analyze** (Анализ) — в Qt интегрированы современные средства анализа кода разрабатываемого приложения.

⁷Окно на вашем компьютере визуально может несколько отличаться от представленного на рис. 1.1, авторы использовали IDE Qt Creator версии 2.6.2, основанную на QT 5.0.1.

6. **Help** (Справка) — используется для вывода документации библиотеки Qt и Qt Creator.
7. **Output** (Вывод) — используется для вывода подробных сведений о проекте.

Рассмотрим простейшие приёмы работы в среде Qt Creator на примере создания консольного приложения для решения задачи 1.1. Для этого можно поступить одним из способов:

1. В меню **File** (Файл) выбрать команду **New File or Project** (Новый файл или проект) (комбинация клавиш **Ctrl+N**).
2. Находясь в режиме **Welcome** (Начало) главного окна QtCreator (рис. 1.1) щёлкаем по ссылке **Develop** (Разработка) и выбираем команду **Create Project** (Создать проект).

После это откроется окно, подобное представленному на рис. 1.2. Для создания простейшего консольного приложения выбираем **Non-Qt Project** (Проект без использования Qt) — **Plain C++ Project** (Простой проект на языке C++).

Далее выбираем имя проекта и каталог для его размещения (см. рис. 1.3)⁸. Следующие два этапа создания нашего первого приложения оставляем без изменения⁹. После чего окно IDE Qt Creator примет вид, подобное, представленное на рис. 1.4. Заменяем текст текста стандартного приложения, которое выводит текст «Hello, Word», на текст программы решения задачи 1.1.

Для сохранения текста программы можно воспользоваться **Сохранить** или **Сохранить всё** из меню **Файл**. Откомпилировать и запустить программу можно одним из следующих способов:

1. Пункт меню **Сборка-Запустить**.
2. Нажать на клавиатуре комбинацию клавиш **Ctrl+R**.
3. Щёлкнуть по кнопке **Запустить** (▶).

Окно с результатами работы программы представлено на рис. 1.5.

Авторы сталкивались с тем, что в некоторых дистрибутивах Ubuntu Linux и Linux Mint после установки Qt Creator не запускались консольные приложения. Если читатель столкнулся с подобной

⁸Рекомендуем для каждого (даже самого простого) проекта выбирать отдельный каталог. Даже самый простой проект — это несколько взаимосвязанных между собой файлов и каталогов.

⁹О назначении этих этапов будет рассказано в дальнейших разделах книги.

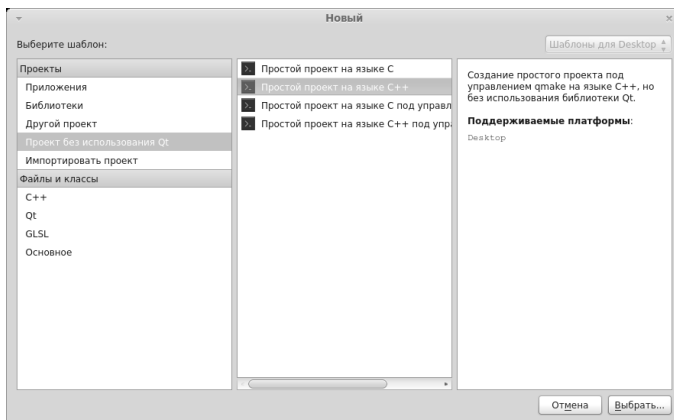


Рис. 1.2. Окно выбора типа приложения в Qt Creator

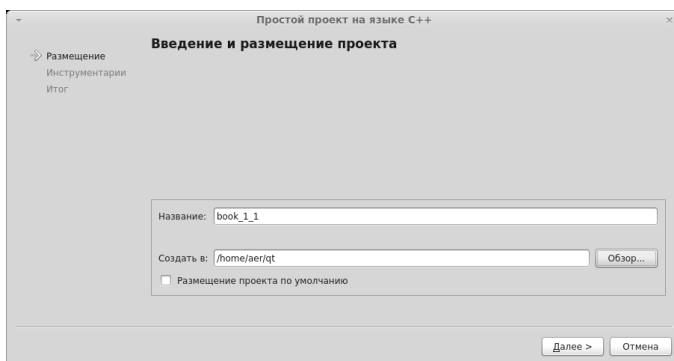


Рис. 1.3. Выбор имени и каталога нового проекта

проблемой, скорее всего надо корректно настроить терминал, который отвечает за запуск приложений в консоли. Для этого вызываем команду Tools — Options — Environment (см. рис. 1.6). Параметр **Terminal** (Терминал) должен быть таким же, как показано на рис. 1.6. Проверьте установлен ли в Вашей системе пакет xterm, и при необходимости доставьте его. После этого не должно быть проблем с запуском консольных приложений.

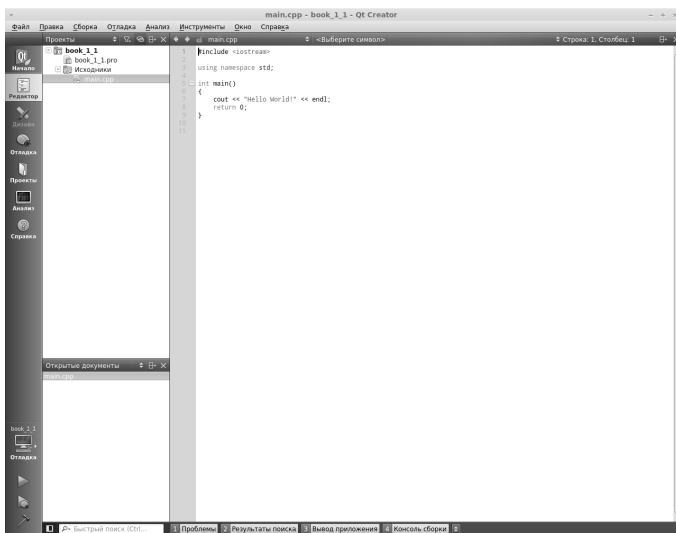


Рис. 1.4. Главное окно создания консольного приложения

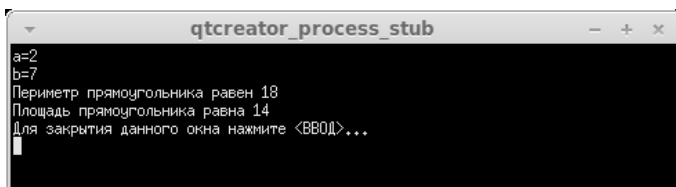


Рис. 1.5. Результаты работы программы решения задачи 1.1

Аналогичным образом можно создавать и запускать любое консольное приложение.

Дальнейшее знакомство со средой Qt Creator продолжим, решая следующую задачу.

Задача 1.2. Заданы длины трёх сторон треугольника a , b и c (см. рис. 1.7). Вычислить площадь и периметр треугольника

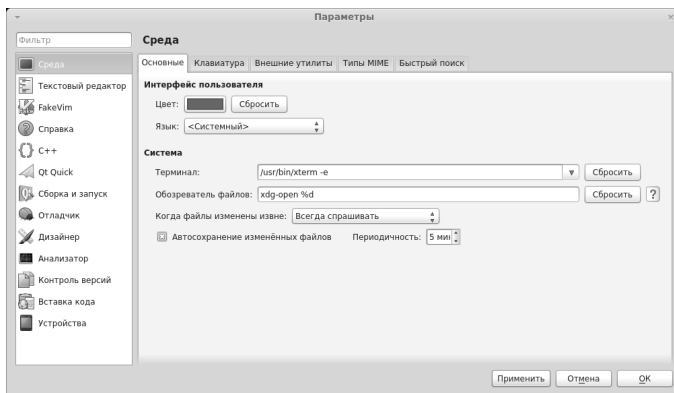


Рис. 1.6. Окно настроек среды Qt Creator

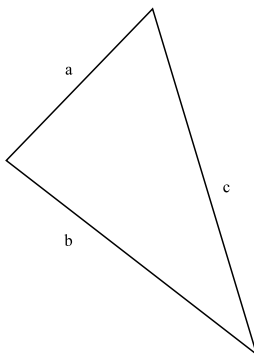


Рис. 1.7. Треугольник

Для решения задачи нам понадобится формула вычисления периметра $p = a + b + c$. Для вычисления площади можно воспользоваться формулой Герона $S = \sqrt{\frac{p}{2} \left(\frac{p}{2} - a\right) \left(\frac{p}{2} - b\right) \left(\frac{p}{2} - c\right)}$.

Решение задачи можно разбить на следующие этапы:

1. Определение значений a , b и c (ввод величин a , b , c с клавиатуры в память компьютера).
2. Расчет значений p и s по приведенным выше формулам.

3. Вывод `p` и `s` на экран дисплея.

Ниже приведен текст программы. Сразу заметим, что в тексте могут встречаться строки, начинающие с двух наклонных (`//`), являющиеся комментариями. *Комментарии* не являются обязательными элементами программы и ничего не сообщают компьютеру, они поясняют человеку, читающему текст программы, назначение отдельных элементов программы. В книге комментарии будут широко использоваться для пояснения отдельных участков программы.

```
#include <iostream>
#include <math.h>
using namespace std;
int main()
{
    float a,b,c,s,p;
    cout<<"Введите длины сторон треугольника"<<endl;
    //Ввод значений длин треугольника a,b,c.
    cin>>a>>b>>c;
    //Вычисление периметра треугольника.
    p=a+b+c;
    //Вычисление площади треугольника.
    s=sqrt(p/2*(p/2-a)*(p/2-b)*(p/2-c));
    //Вывод на экран дисплея значений площади и периметра треугольника.
    cout<<"Периметр треугольника равен "<<p<<" , его площадь
        равна "<<s<<endl;
    return 0;
}
```

Кроме используемой в предыдущей программе библиотеки `iostream`, в строке 2 подключим библиотеку `math.h`, которая служит для использования математических функций языка C(C++). В данной программе используется функция извлечения квадратного корня — `sqrt(x)`. Остальные операторы (ввода, вывода, вычисления значений переменных) аналогичны используемым в предыдущей программе.

Таким образом, выше были рассмотрены самые простые программы (линейной структуры), которые предназначены для ввода исходных данных расчёта по формулам и вывода результатов.

Глава 2

Общие сведения о языке C++

В этой главе читатель познакомится с основными элементами языка C++: алфавитом, переменными, константами, типами данных, основными операциями, стандартными функциями, структурой программы и средствами ввода вывода данных.

2.1 Алфавит языка

Программа на языке C++ может содержать следующие символы:

- прописные, строчные латинские буквы A, B, C, . . . , x, y, z и знак подчеркивания;
- арабские цифры от 0 до 9;
- специальные знаки: “ { } , | [] () + - / % * . \ ‘ : ? < = > ! & # ~ ; ^
- символы пробела, табуляции и перехода на новую строку.

Из символов алфавита формируют ключевые слова и идентификаторы. Ключевые слова — это зарезервированные слова, которые имеют специальное значение для компилятора и используются только в том смысле, в котором они определены (операторы языка, типы данных и т.п.). Идентификатор — это имя программного объекта, представляющее собой совокупность букв, цифр и символа подчеркивания. Первый символ идентификатора — буква или знак подчеркивания, но не цифра. Идентификатор не может содержать пробел. Прописные и строчные буквы в именах различаются, например, ABC, abc, Abc — три различных имени. Каждое имя (идентификатор) должно быть уникальным в пределах функции и не совпадать с ключевыми словами.

В тексте программы можно использовать комментарии. Если текст начинается с двух символов «косая черта» `//` и заканчивается символом перехода на новую строку или заключен между символами `/*` и `*/`, то компилятор его игнорирует.

```
/* Комментарий может выглядеть так! */
```

```
//А если вы используете такой способ,  
//то каждая строка должна начинаться  
//с двух символов «косая черта».
```

Комментарии удобно использовать как для пояснений к программе, так и для временного исключения фрагментов программы при отладке.

2.2 Данные

Для решения задачи в любой программе выполняется обработка каких-либо данных. Данные хранятся в памяти компьютера и могут быть самых различных типов: целыми и вещественными числами, символами, строками, массивами. Типы данных определяют способ хранения чисел или символов в памяти компьютера. Они задают размер ячейки, в которую будет записано то или иное значение, определяя тем самым его максимальную величину или точность задания. Участок памяти (ячейка), в котором хранится значение определенного типа, называется переменной. У переменной есть имя (идентификатор) и значение. Имя служит для обращения к области памяти, в которой хранится значение. Во время выполнения программы значение переменной можно изменить. Перед использованием любая переменная должна быть описана. Оператор описания переменных в языке C++ имеет вид:

```
тип имя_переменной;
```

или

```
тип список_переменных;
```

Типы данных языка C++ можно разделить на основные и составные.

К основным типам данных языка относят:

- `char` — символьный;
- `int` — целый;
- `float` — с плавающей точкой;
- `double` — двойной точности;
- `bool` — логический.

Для формирования других типов данных используют основные типы и так называемые спецификаторы. Типы данных, созданные на базе стандартных типов с использованием спецификаторов, называют составными типами данных. В C++ определены четыре спецификатора типов данных:

- `short` — короткий;
- `long` — длинный;
- `signed` — знаковый;
- `unsigned` — беззнаковый.

Далее будут рассмотрены назначение и описание каждого типа.

2.2.1 Символьный тип

Данные типа `char` в памяти компьютера всегда занимают один байт¹. Это связано с тем, что обычно под величину символьного типа отводят столько памяти, сколько необходимо для хранения любого из 256 символов клавиатуры. Символьный тип может быть со знаком или без знака (табл. 2.1).

Таблица 2.1: Символьные типы данных

Тип	Диапазон	Размер
<code>char</code>	−128...127	1 байт
<code>unsigned char</code>	0...255	1 байт
<code>signed char</code>	−128...127	1 байт

Пример описания символьных переменных:

```
char c, str; //Описаны две символьные переменные.
```

При работе с символьными данными нужно помнить, что если в выражении встречается одиночный символ, он должен быть заключен в одинарные кавычки. Например, `'a'`, `'b'`, `'+'`, `'3'`.

Последовательность символов, то есть строка, при использовании в выражениях заключается в двойные кавычки: `"Hello!"`.

2.2.2 Целочисленный тип

Переменная типа `int` в памяти компьютера может занимать либо два, либо четыре байта. Это зависит от разрядности процессора.

¹В кодировке `utf` каждый символ кириллицы занимает 2 байта.

Диапазоны значений целого типа представлены в таблице 2.2. По умолчанию все целые типы считаются знаковыми, т.е. спецификатор `signed` можно не указывать.

Таблица 2.2: Целые типы данных

Тип	Диапазон	Размер
<code>int</code>	$-2147483647 \dots 2147483647$	4 байта
<code>unsigned int</code>	$0 \dots 4294967295$	4 байта
<code>signed int</code>	$-2147483647 \dots 2147483647$	4 байта
<code>short int</code>	$-32767 \dots 32767$	2 байта
<code>long int</code>	$-2147483647 \dots 2147483647$	4 байта
<code>unsigned short int</code>	$0 \dots 65535$	2 байта
<code>signed short int</code>	$-32767 \dots 32767$	2 байта
<code>long long int</code>	$-(2^{63}-1) \dots (2^{63}-1)$	8 байт
<code>signed long int</code>	$-2147483647 \dots 2147483647$	4 байта
<code>unsigned long int</code>	$0 \dots 4294967295$	4 байта
<code>unsigned long long int</code>	$0 \dots 2^{64}-1$	8 байт

Пример описания целочисленных данных:

```
int a, b, c;
unsigned long int A, B, C;
```

2.2.3 Вещественный тип

Внутреннее представление вещественного числа в памяти компьютера отличается от представления целого числа. Число с плавающей точкой представлено в экспоненциальной форме $mE \pm p$, где m — мантисса (целое или дробное число с десятичной точкой), p — порядок (целое число). Для того чтобы перевести число в экспоненциальной форме к обычному представлению с фиксированной точкой, необходимо мантиссу умножить на десять в степени порядок. Например,

$$-6.42E + 2 = -6.42 \cdot 10^2 = -642,$$

$$3.2E - 6 = 3.2 \cdot 10^{-6} = 0.0000032$$

Обычно величины типа `float` занимают 4 байта, из которых один двоичный разряд отводится под знак, 8 разрядов под порядок и 23 под мантиссу. Поскольку старшая цифра мантиссы всегда равна 1, она не хранится.

Величины типа `double` занимают 8 байт, в них под порядок и мантиссу отводится 11 и 52 разряда соответственно. Длина мантиссы определяет точность числа, а длина порядка его диапазон. Спецификатор типа `long` перед именем типа `double` указывает, что под величину отводится 10 байт.

Диапазоны значений вещественного типа представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3: Вещественные типы данных

Тип	Диапазон	Размер
<code>float</code>	3.4E-38 ... 3.4E+38	4 байта
<code>double</code>	1.7E-308 ... 1.7E+308	8 байт
<code>long double</code>	3.4E-4932 ... 3.4E+4932	10 байт

Пример описания вещественных переменных:

```
double x1,x2,x3;  
float X, Y, Z;
```

2.2.4 Логический тип

Переменная типа `bool` может принимать только два значения `true` (истина) или `false` (ложь). Любое значение не равное нулю интерпретируется как `true`, а при преобразовании к целому типу принимает значение равное 1. Значение `false` представлено в памяти как 0.

Пример описания данных логического типа:

```
bool F, T;
```

2.2.5 Тип `void`

Множество значений этого типа пусто. Он используется для определения функций, которые не возвращают значения, для указания пустого списка аргументов функции, как базовый тип для указателей и в операции приведения типов.

2.3 Константы

Константы это величины, которые не изменяют своего значения в процессе выполнения программы. Оператор описания константы имеет вид:

```
const тип имя_константы = значение;
```

Константы в языке C++ могут быть целыми, вещественными, символическими или строковыми. Обычно компилятор определяет тип константы по внешнему виду, но существует возможность и явного указания типа, например,

```
const double pi=3.141592653589793
```

Кроме того, константа может быть определена с помощью директивы² `#define`. Эта директива служит для замены часто используемых констант, ключевых слов, операторов или выражений некоторыми идентификаторами. Идентификаторы, заменяющие текстовые или числовые константы, называют именованными константами. Основная форма синтаксиса директивы следующая:

```
#define идентификатор текст
```

Например,

```
#define PI 3.141592653589793
```

```
int main()
```

```
...
```

2.4 Структурированные типы данных

Структурированный тип данных характеризуется множественностью образующих его элементов. В C++ это массивы, строки, структуры и файлы.

Массив — совокупность данных одного и того же типа³. Число элементов массива фиксируется при описании типа и в процессе выполнения программы не изменяется.

В общем виде массив можно описать так:

```
тип имя [размерность_1] [размерность_2] ... [размерность_N];
```

Например,

```
float x[10];      //Описан массив из 10 целых чисел.
```

```
int a[3][4];      //Описан двумерный массив,  
                  //матрица из 3-х строк и 4-х столбцов.
```

```
double b[2][3][2]; //Описан трехмерный массив.
```

Для доступа к элементу массива достаточно указать его порядковый номер, а если массив многомерный (например, таблица), то несколько номеров:

²Структура программы и директивы описаны в п. 2.8

³Подробно работа с одномерными и двумерными массивами описана в главах ?? и ??.

имя_массива[номер_1][номер_2]...[номер_N]

Например: `x[5]`, `a[2][3]`, `b[1][2][2]`.

Элементы массива в C++ нумеруются с нуля. Первый элемент, всегда имеет номер ноль, а номер последнего элемента на единицу меньше заданной при его описании размерности:

```
char C[5]; //Описан массив из 5 символов,  
           //нумерация от 0 до 4.
```

Строка — последовательность символов⁴. В C++ строки описывают как массив элементов типа `char`. Например:

```
char s[25]; // Описана строка из 25 символов.
```

Структура⁵ это тип данных, который позволяет объединить разнородные данные и обрабатывать их как единое целое.

Например

```
struct fraction //Объявлена структура правильная дробь.  
{  
    //Определяем поля структуры:  
    int num;    // поле числитель,  
    int den;    // поле знаменатель.  
}  
...  
fraction d, D[20]; //Определена переменная d,  
                  //массив D[20], типа fraction.  
...  
d.num;           //Обращение к полю num переменной d.  
D[4].den;        //Обращение к полю den  
                //четвертого элемента массива D.
```

2.5 Указатели

Указатели широко применяются в C++. Можно сказать, что именно наличие указателей сделало этот язык удобным для системного программирования. С другой стороны это одна из наиболее сложных для освоения возможностей C++. Идея работы с указателями состоит в том, что пользователь работает с адресом ячейки памяти.

Как правило, при обработке оператора объявления переменной
тип имя_переменной;

⁴Работа со строками описана в главе ??

⁵Работа со структурами описана в главе ??.

компилятор автоматически выделяет память под переменную `имя_переменной` в соответствии с указанным типом:

```
char C; //Выделена память под символьную переменную C
```

Доступ к объявленной переменной осуществляется по ее имени. При этом все обращения к переменной заменяются на адрес ячейки памяти, в которой хранится ее значение. При завершении программы или функции, в которой была описана переменная, память автоматически освобождается.

Доступ к значению переменной можно получить иным способом — определить собственные переменные для хранения адресов памяти. Такие переменные называют указателями. С помощью указателей можно обрабатывать массивы, строки и структуры, создавать новые переменные в процессе выполнения программы, передавать адреса фактических параметров функциям и адреса функций в качестве параметров.

Итак, указатель это переменная, значением которой является адрес памяти, по которому хранится объект определенного типа (другая переменная). Например, если `C` это переменная типа `char`, а `P` — указатель на `C`, значит в `P` находится адрес по которому в памяти компьютера хранится значение переменной `C`.

Как и любая переменная, указатель должен быть объявлен. При объявлении указателей всегда указывается тип объекта, который будет храниться по данному адресу:

```
тип *имя_переменной;
```

Например:

```
int *p;      //По адресу, записанному в переменной p,  
             //будет храниться переменная типа int
```

Звездочка в описании указателя, относится непосредственно к имени, поэтому чтобы объявить несколько указателей, ее ставят перед именем каждого из них:

```
float *x, y, *z; //Описаны указатели на вещественное  
//число -- x и z, само вещественное значение -- *x, *z.  
//а так же вещественная переменная y, её адрес -- &y.
```

2.6 Операции и выражения

Выражение задает порядок выполнения действий над данными и состоит из операндов (констант, переменных, обращений к функциям), круглых скобок и знаков операций. Операции делятся на унар-

ные (например, `-c`) и бинарные (например, `a+b`). В таблице 2.4 представлены основные операции языка C++.

Таблица 2.4: Основные операции языка C++

Операция	Описание
Унарные операции	
<code>++</code>	увеличение значения на единицу
<code>--</code>	уменьшение значения на единицу
<code>~</code>	побитовое отрицание
<code>!</code>	логическое отрицание
<code>-</code>	арифметическое отрицание (унарный минус)
<code>+</code>	унарный плюс
<code>&</code>	взятие адреса
<code>*</code>	разадресация
<code>(type)</code>	преобразование типа
Бинарные операции	
<code>+</code>	сложение
<code>-</code>	вычитание
<code>*</code>	умножение
<code>/</code>	деление
<code>%</code>	остаток от деления
<code><<</code>	сдвиг влево
<code>>></code>	сдвиг вправо
<code><</code>	меньше
<code>></code>	больше
<code><=</code>	меньше или равно
<code>>=</code>	больше или равно
<code>==</code>	равно
<code>!=</code>	не равно
<code>&</code>	побитовая конъюнкция (И)
<code>^</code>	побитовое исключающее ИЛИ
<code> </code>	побитовая дизъюнкция (ИЛИ)
<code>&&</code>	логическое И
<code> </code>	логическое ИЛИ
<code>=</code>	присваивание
<code>*=</code>	умножение с присваиванием
<code>/=</code>	деление с присваиванием

Таблица 2.4 — продолжение

Операция	Описание
<code>+=</code>	сложение с присваиванием
<code>-=</code>	вычитание с присваиванием
<code>%=</code>	остаток от деления с присваиванием
<code><<=</code>	сдвиг влево с присваиванием
<code>>>=</code>	сдвиг вправо с присваиванием
<code>&=</code>	поразрядная конъюнкция с присваиванием
<code> =</code>	поразрядная дизъюнкция с присваиванием
<code>^=</code>	поразрядное исключающее ИЛИ с присваиванием
Другие операции	
<code>?</code>	условная операция
<code>,</code>	последовательное вычисление
<code>sizeof</code>	определение размера
<code>(тип)</code>	преобразование типа

Перейдем к подробному рассмотрению основных операций языка.

2.6.1 Операции присваивания

Обычная операция присваивания имеет вид:

имя_переменной=значение;

где **значение** это выражение, переменная, константа или функция. Выполняется операция так. Сначала вычисляется значение выражения указанного в правой части оператора, а затем его результат записывается в область памяти, имя которой указано слева.

Например,

```
b=3;    //Переменной b присваивается значение равное трем.
a=b;    // Переменной a присваивается значение b.
c=a+2*b; // Переменной c присваивается значение выражения.
c=c+1;  // Значение переменной c увеличивается на единицу.
a=a*3;  // Значение переменной a увеличивается в три раза.
```

Задача 2.1. Пусть в переменной *a* хранится значение равное 3, а в переменную *b* записали число 5. Поменять местами значения переменных *a* и *b*.

Для решения задачи понадобится дополнительная переменная *c* (см. рис. 2.1). В ней временно сохраняется значение переменной *a*. Затем, значение переменной *b* записывается в переменную *a*, а значение переменной *c* в переменную *b*.

```
c=a;    // Шаг 1. c=3  
a=b;    // Шаг 2. a=5  
b=c;    // Шаг 3. b=3
```

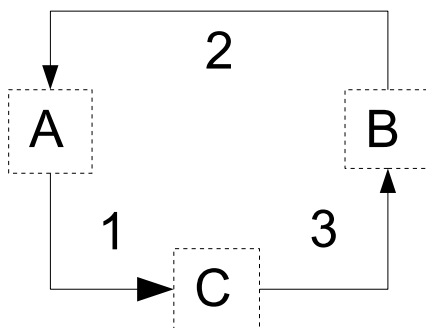


Рис. 2.1. Использование буферной переменной

Если в операторе присваивания левая и правая часть это переменные разных типов, то *происходит преобразование*: значение переменной в правой части преобразуется к типу переменной в левой части. Следует учитывать, что при этом можно потерять информацию или получить другое значение.

В C++ существует возможность присваивания нескольким переменным одного и того же значения. Такая операция называется *множественным присваиванием* и в общем виде может быть записана так:

```
имя_1 = имя_2 = ... = имя_N = значение;
```

Запись `a=b=c=3.14159/6;`

означает, что переменным `a`, `b` и `c` было присвоено одно и то же значение `3.14159/6`.

Операции `+=`, `-=`, `*=`, `/=` называют *составным присваиванием*. В таких операциях при вычислении выражения стоящего справа используется значение переменной из левой части, например так:

```
x+=p; //Увеличение x на p, то же что и x=x+p.
```

```
x-=p; //Уменьшения x на p, то же что и x=x-p.
```

```
x*=p; //Умножение x на p, то же что и x=x*p.
```

```
x/=p; //Деление x на p, то же что и x=x/p.
```

2.6.2 Арифметические операции

Операции $+$, $-$, $*$, $/$ относят к *арифметическим операциям*. Их назначение понятно и не требует дополнительных пояснений. При программировании арифметических выражений следует придерживаться простых правил. Соблюдать очерёдность выполнения арифметических операций. Сначала выполняются операции умножения и деления (1-й уровень), а затем сложения и вычитания (2-й уровень). Операции одного уровня выполняются последовательно друг за другом. Для изменения очерёдности выполнения операций используют скобки. Таблица 2.5 содержит примеры записи алгебраических выражений.

Таблица 2.5: Примеры записи алгебраических выражений

Математическая запись	Запись на языке C++
$2 \cdot a + b \cdot (c + d)$	<code>2*a+b*(c+d)</code>
$3 \cdot \frac{a+b}{c+d}$	<code>3*(a+b)/(c+d)</code>
$\frac{3 \cdot a - 2 \cdot b}{c \cdot d}$	<code>(3*a-2*b)/(c*d)</code> или <code>(3*a-2*b)/c/d</code>
$\frac{(b-a)^2}{c + \frac{1}{d-2}} - \frac{a^2+1}{b^2+cd}$	<code>(b-a)*(b-a)/(c+1/(d-2))-</code> <code>(a*a+1)/(b*b+c*d)</code>

Операции *инкремента* `++` и *декремента* `--` так же причисляют к арифметическим, так как они выполняют увеличение и уменьшение на единицу значения переменной. Эти операции имеют две формы записи: префиксную (операция записывается перед операндом) и постфиксную (операция записывается после операнда). Так, например оператор `r=r+1`; можно представить в префиксной форме `++r`; и в постфиксной `r++`. Эти формы отличаются при использовании их в выражении. Если знак декремента (инкремента) предшествует операнду, то сначала выполняется увеличение (уменьшение) значения операнда, а затем операнд участвует в выражении. Например,

`x=12;`

`y=++x;` //В переменных `x` и `y` будет храниться значение 13.

Если знак декремента (инкремента) следует после операнда, то сначала операнд участвует в выражении, а затем выполняется увеличение (уменьшение) значения операнда:

`x=12;`

`y=x++;` //Результат — число 12 в переменной `y`, а в `x` — 13.

Остановимся на *операциях целочисленной арифметики*.

Операция целочисленного деления `/` возвращает целую часть частного (дробная часть отбрасывается) в том случае если она применяется к целочисленным операндам, в противном случае выполняется обычное деление: $11/4=2$ или $11.0/4=2.75$.

Операция остаток от деления `%` применяется только к целочисленным операндам: $11\%4 = 3$.

К *операциям битовой арифметики* относятся следующие операции: `&`, `|`, `^`, `~`, `<<`, `>>`. В операциях битовой арифметики действия происходят над двоичным представлением целых чисел.

Арифметическое И (&). Оба операнда переводятся в двоичную систему, затем над ними происходит логическое поразрядное умножение операндов по следующим правилам:

$1\&1=1, 1\&0=0, 0\&1=0, 0\&0=0$.

Например, если $A=14$ и $B=24$, то их двоичное представление — $A=0000000000001110$ и $B=000000000011000$. В результате логического умножения `A and B` получим 000000000001000 или 8 в десятичной системе счисления (рис. 2.2). Таким образом, $A\&B=14\&24=8$.

A=	<div>00000000000001110</div>	14
B=	<div>00000000000011000</div>	24
A and B =	<div>0000000000001000</div>	8

Рис. 2.2. Пример логического умножения

Арифметическое ИЛИ (|). Здесь также оба операнда переводятся в двоичную систему, после чего над ними происходит логическое поразрядное сложение операндов по следующим правилам:

$1|1=1, 1|0=1, 0|1=1, 0|0=0$.

Например, результат логического сложения чисел $A=14$ и $B=24$ будет равен `A or B=30` (рис. 2.3).

Арифметическое исключающее ИЛИ (^). Оба операнда переводятся в двоичную систему, после чего над ними происходит логическая поразрядная операция `^` по следующим правилам:

$1\^1=0, 1\^0=1, 0\^1=1, 0\^0=0$.

A=	<table><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	14
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0			
B=	или <table><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr></table>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	24
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0			
A or B =	<table><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	30
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1			

Рис. 2.3. Пример логического сложения

Арифметическое отрицание (\sim). Эта операция выполняется над одним операндом. Применение операции \sim вызывает побитную инверсию двоичного представления числа (рис. 2.4).

A=	<table><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr></table>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	13
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1			
not A=	<table><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	not 13=-14
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0			

Рис. 2.4. Пример арифметического отрицания

Сдвиг влево ($M \ll L$). Число M , представленное в двоичной системе, сдвигается влево на L позиций. Рассмотрим операцию `15 shl 3`. Число 15 в двоичной системе имеет вид 1111. При сдвиге его на 3 позиции влево получим 1111000. В десятичной системе это двоичное число равно 120. Итак, `15 shl 3 = 120` (рис. 2.5). Заметим, что сдвиг на один разряд влево соответствует умножению на два, на два разряда — умножению на четыре, на три — умножению на восемь. Таким образом, операция $M \ll L$ эквивалентна умножению числа M на 2 в степени L .

<table><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	15
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1		
← Сдвиг на три позиции																
<table><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr></table>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	15 shl 3=120
0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0		

Рис. 2.5. Пример операции «Сдвиг влево»

Сдвиг вправо ($M \gg L$). Число M , представленное в двоичной системе, сдвигается вправо на L позиций, что эквивалентно целочисленному делению числа M на 2 в степени L . Например, `15 shr 1=7` (рис. 2.6), `15 shr 3= 2`.

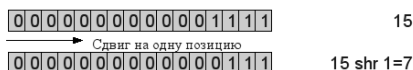


Рис. 2.6. Пример операции «Сдвиг вправо»

2.6.3 Логические операции

В C++ определены следующие логические операции `||` (или), `&&` (и), `!` (не). Логические операции выполняются над логическими значениями `true` (истина) и `false` (ложь). В языке C++ ложь — 0, истина — любое значение $\neq 0$. В таблице 2.6 приведены результаты логических операций.

Таблица 2.6: Логические операции

A	B	!A	A&&B	A B
0	0	1	0	0
0	1	1	0	1
1	0	0	0	1
1	1	0	1	1

2.6.4 Операции отношения

Операции отношения возвращают в качестве результата логическое значение. Таких операций шесть: `>`, `>=`, `<`, `<=`, `==`, `!=`. Результат операции отношения — логическое значение `true` (истина) или `false` (ложь).

2.6.5 Условная операция

Для организации разветвлений в простейшем случае можно использовать *условную операцию* `? : .` Эта операция имеет три операнда и в общем виде может быть представлена так:

`условие ? выражение1 : выражение2;`

Работает операция следующим образом. Если условие истинно (не равно 0), то результатом будет `выражение1`, в противном случае `выражение2`. Например, операция `y=x<0 ? -x : x;` записывает в переменную `y` модуль числа `x`.

2.6.6 Операция преобразования типа

Для приведения выражения к другому типу данных в C++ существует *операция преобразования типа*:

(тип) выражение;

Например, в результате действий `x=5; y=x/2; z=(float) x/2;` переменная `y` примет значение равное 2 (результат целочисленного деления), а переменная `z = 2.5`.

2.6.7 Операция определения размера

Вычислить размер объекта или типа в байтах можно с помощью *операции определения размера*, которая имеет две формы записи:

`sizeof (тип);` или `sizeof выражение;`

Например, предположим, что была описана целочисленная переменная `int k=3;`. Исходя из того, что тип `int` занимает в памяти 4 байта, в переменную `m=sizeof k;` будет записано число 4.

В результате работы команд `double z=123.456; p=sizeof (k+z);` значение переменной `p` стало равно 8, т. к. вещественный тип `double` более длинный (8 байтов) по сравнению с типом `int` (4 байта) и значение результата было преобразовано к более длинному типу. В записи операции `sizeof (k+z)` были использованы скобки. Это связано с тем, что операция определения типа имеет более высокий приоритет, чем операция сложения. При заданном значении `z=123.456;` та же команда, но без скобок `p=sizeof k+z;` вычислит `p=4+123.456=127.456`.

Команда `s = sizeof "Hello";` определит, что под заданную строку в памяти было выделено `s=6` байтов, т. к. объект состоит из 5 символов и один байт на символ окончания строки.

2.6.8 Операции с указателями

При работе с указателями часто используют операции *получения адреса* `&` и *разадресации* `*` (табл. 2.7).

Таблица 2.7: Операции получения адреса `&` и разадресации `*`

Описание	Адрес	Значение, хранящееся по адресу
тип <code>*p</code>	<code>p</code>	<code>*p</code>
тип <code>p</code>	<code>&p</code>	<code>p</code>

Операция получения адреса & возвращает адрес своего операнда.

Например:

```
float a;           //Объявлена вещественная переменная a
float *adr_a;      //Объявлен указатель на тип float
adr_a=&a;          //Оператор записывает в переменную adr_a
                  //адрес переменной a
```

*Операция разадресации ** возвращает значение переменной, хранящееся по заданному адресу, т.е. выполняет действие, обратное операции &:

```
float a;           //Объявлена вещественная переменная a.
float *adr_a;      //Объявлен указатель на тип float.
a=*adr_a;          //Оператор записывает в переменную a
                  //вещественное значение, хранящееся по адресу adr_a.
```

К указателям применяют *операцию присваивания*. Это значит, что значение одного указателя можно присвоить другому. Если указатели одного типа, то для этого применяют обычную операцию *присваивания*:

```
//Описана вещественная переменная и два указателя.
float PI=3.14159,*p1,*p2;
//В указатели p1 и p2 записывается адрес переменной PI.
p1=p2=&PI;
```

Если указатели ссылаются на различные типы, то при присваивании значения одного указателя другому, необходимо использовать преобразование типов. Без преобразования можно присваивать любому указателю указатель `void*`.

```
Рассмотрим пример работы с указателями различных типов:
float PI=3.14159;   //Объявлена вещественная переменная.
float *p1;          //Объявлен указатель на float.
double *p2;         //Объявлен указатель на double.
p1=&PI; //Переменной p1 присваивается значение адреса PI.
p2=(double *)p1;    //Указателю на double присваивается
                  //значение, которое ссылается на тип float.
```

В указателях `p1` и `p2` хранится один и тот же адрес (`p1=0012FF7C`), но значения, на которые они ссылаются разные (`*p1=3.14159`, `*p2=2.642140e-308`). Это связано с тем, указатель типа `*float` адресует 4 байта, а указатель `*double` — 8 байт. После присваивания `p2=(double *)p1`; при обращении к `*p2` происходит следующее: к переменной, хранящейся по адресу `p1`, дописывается еще следующих 4 байта из памяти. В результате значение `*p2` не совпадает со значением `*p1`.

Таким образом, при преобразовании указателей разного типа приведение типов разрешает только синтаксическую проблему присваивания. Следует помнить, что операция `*` над указателями различного типа, ссылающимися на один и тот же адрес, возвращает различные значения.

Над адресами C++ определены следующие *арифметические операции*:

- сложение и вычитание указателей с константой;
- вычитание одного указателя из другого;
- инкремент;
- декремент.

Сложение и вычитание указателей с константой `n` означает, что указатель перемещается по ячейкам памяти на столько байт, сколько занимает `n` переменных того типа на который он указывает. Например, пусть указатель имеет символьный тип и его значение равно 100. Результат сложения этого указателя с единицей — 101, так как для хранения переменной типа `char` требуется один байт. Если же значение указателя равно 100, но он имеет целочисленный тип, то результат его сложения с единицей будет составлять 104, так как для переменной типа `int` отводится четыре байта.

Эти операции применимы только к указателям одного типа и имеют смысл в основном при работе со структурными типами данных, например массивами.

Фактически получается, что значение указателя изменяется на величину `sizeof(тип)`. Если указатель на определенный тип увеличивается или уменьшается на константу, то его значение изменяется на величину этой константы, умноженную на размер объекта данного типа. Например:

```
//Объявление массива из 10 элементов.  
double mas[10]={1.29,3.23,7.98,5.54,8.32,2.48,7.1};  
double *p1;    //Объявление указателя на double  
p1=&mas[0];    //Присвоение указателю адреса  
                //нулевого элемента массива.  
p1=p1+3;       //Увеличение значения адреса на 3*8=24  
                //(размер типа double), в результате указатель  
                //сместится на три ячейки, размером double каждая.
```

Вычитание двух указателей определяет сколько переменных данного типа размещается между указанными ячейками. Разность двух

указателей это разность их значений, деленная на размер типа в байтах. Так разность указателей на третий и нулевой элементы массива равна трем, а на третий и девятый — шести. Суммирование двух указателей не допускается.

Операции *инкремента* и *декремента*, соответственно, увеличивают или уменьшают значение адреса:

```
double *p1;
float *p2;
int *i;
p1++; //Увеличение значения адреса на 8.
p2++; //Увеличение значения адреса на 4.
i++; //Увеличение значения адреса на 4.
```

К указателям так же применимы операции отношения `==`, `!=`, `<`, `>`, `<=`, `>=`. Иными словами указатели можно сравнивать. Например, если `i` указывает на пятый элемент массива, а `j` на первый, то отношение `i > j` истинно. Кроме того, любой указатель всегда можно сравнить на равенство с константой нулевого указателя (`NULL`)⁶. Однако, все эти утверждения верны, если речь идёт об указателях ссылающихся на один массив. В противном случае результат арифметических операций и операций отношения будет не определён.

2.7 Стандартные функции

В C++ определены *стандартные функции* над арифметическими операндами⁷. В таблице 2.8 приведены некоторые из них.

Таблица 2.8: Стандартные математические функции

Обозначение	Действие
<code>abs(x)</code>	Модуль целого числа x
<code>fabs(x)</code>	Модуль вещественного числа x
<code>sin(x)</code>	Синус числа x
<code>cos(x)</code>	Косинус числа x
<code>tan(x)</code>	Тангенс числа x
<code>atan(x)</code>	Арктангенс числа x , $x \in (-\frac{i\pi}{2}; \frac{i\pi}{2})$

⁶Константу нулевого указателя можно присвоить любому указателю и такой указатель при сравнении не будет равен любому реальному указателю.

⁷Работа с математическими функциями возможно только при подключении директивы `math.h` (п. ??)

Таблица 2.8 — продолжение

Обозначение	Действие
<code>acos(x)</code>	Арккосинус числа x
<code>asin(x)</code>	Арксинус числа x
<code>exp(x)</code>	Экспонента, e^x
<code>log(x)</code>	Натуральный логарифм, ($x > 0$)
<code>log10(x)</code>	Десятичный логарифм, ($x > 0$)
<code>sqrt(x)</code>	Корень квадратный, ($x > 0$)
<code>pow(x,y)</code>	Возведение числа x в степень y
<code>ceil(x)</code>	Округление числа x до ближайшего большего целого
<code>floor(x)</code>	Округление числа x до ближайшего меньшего целого

Примеры записи математических выражений с использованием встроенных функций представлены в таблице 2.9.

Таблица 2.9: Примеры записи математических выражений

Математическая запись	Запись на языке C++
$\sqrt[3]{(a+b)^2}$	<code>pow((a+b)*(a+b), 1./3)</code> или <code>pow(pow(a+b,2), 1./3)</code>
$\cos^4(x)$	<code>pow(cos(x), 4)</code>
e^{2x}	<code>exp(2*x)</code>
$e^{5 \sin(\frac{x}{2})}$	<code>exp(5*sin(x/2))</code>
$\sin^2(\sqrt{x})$	<code>pow(sin(sqrt(x)), 2)</code>
$\ln(x-2)$	<code>log(fabs(x-2))</code>
$\log_b a$	<code>log(a)/log(b)</code>
$\frac{\lg(x^2+1)}{\lg(4)}$	<code>log10(x*x+1)/log10(4)</code>
$\sin(x^2+y^2) + \cos\left(\frac{x^2+y^2}{2*y}\right) + \sqrt{x^2+y^2}$	<code>z=x*x+y*y;</code> <code>sin(z)+cos(z/(2*y))+sqrt(z);</code>

Определенную проблему представляет применение функции `pow(x,y)`. При программировании выражений, содержащих возведение в степень, надо внимательно проанализировать значения, которые могут принимать x и y , так как в некоторых случаях возведение x в степень y невыполнимо.

Так, ошибка возникает, если x — отрицательное число, а y — дробь. Предположим, что y — правильная дробь вида $\frac{k}{m}$. Если знаменатель m четный, это означает вычисление корня четной степени из отрицательного числа, а значит, операция не может быть выполнена. В противном случае, если знаменатель m нечетный, можно воспользоваться выражением $z = -\text{pow}(\text{fabs}(x), y)$. Например, вычисление кубического корня из вещественного числа можно представить командой:

```
z=(x<0) ? -pow(fabs(x),(double) 1/3) : pow(x,(double) 1/3);
```

2.8 Структура программы

Программа на языке C++ состоит из *функций*, *описаний* и *директив процессора*.

Одна из функций должна обязательно носить имя `main`. Элементарное описание функции имеет вид:

```
тип_результата имя_функции (параметры)
{
    оператор1;
    оператор2;
    ...
    операторN;
}
```

Здесь, `тип_результата` — это тип того значения, которое функция должна вычислить (если функция не должна возвращать значение, указывается тип `void`), `имя_функции` — имя, с которым можно обращаться к этой функции, `параметры` — список аргументов функции (может отсутствовать), `оператор1`, `оператор2`, ..., `операторN` — операторы, представляющие тело функции, они обязательно заключаются в фигурные скобки и каждый оператор заканчивается точкой с запятой. Как правило программа на C++ состоит из одной или нескольких, не вложенных друг в друга функций.

Основному тексту программы предшествуют *директивы препроцессора* предназначенные для *подключения библиотек*, которые в общем виде выглядят так:

```
#include <имя_файла>
```

Каждая такая строка дает компилятору команду присоединить программный код, который хранится в отдельном файле с расширением `.h`. Такие файлы называют *файлами заголовков*. С их помощью можно выполнять ввод-вывод данных, работать с математическими

функциями, преобразовывать данные, распределять память и многое другое. Например, описание стандартных математических функций находится в заголовочном файле `math.h`.

Общую структуру программы на языке C++ можно записать следующим образом:

```
директивы процессора
описание глобальных переменных
тип_результата main(параметры)
{
описание переменных главной функции;
    операторы главной функции;
}

тип_результата имя1(параметры1)
{
описание переменных функции имя1;
    операторы1;
}

тип_результата имя2(параметры2)
{
описание переменных функции имя2;
    операторы2;
}

.....

тип_результата имяN(параметрыN)
{
описание переменных функции имяN;
    операторыN;
}
```

По месту объявления переменные в языке Си можно разделить на три класса: локальные, глобальные и формальные параметры функции.

Локальные переменные объявляются внутри функции и доступны только в ней. Например:

```
int main()
{
//В функции main определена вещественная переменная s,
    float s;
    s=4.5;    //и ей присвоено значение 4.5.
}
int f1()
{
//В функции f1 описана другая переменная s,
```

```
    int s;  
    s=6;    //ей присвоено значение 6.  
}  
int f2()  
{  
    //В функции f2 определена еще одна переменная s,  
    long int s;  
    s=25;    //ей присвоено значение 25.  
}
```

Глобальные переменные описываются до всех функций и доступны из любого места программы. Например:

```
float s;    //Определена глобальная переменная s.  
int main()  
{  
    //В главной функции переменной s присваивается значение 4.5.  
    s=4.5;  
}  
int f1()  
{  
    //В функции f1 переменной s присваивается значение 6.  
    s=6;  
}  
int f2()  
{  
    //В функции f2 переменной s присваивается значение 2.1.  
    s=2.1;
```

Формальные параметры функций описываются в списке параметров функции. Работа с функциями подробно описана в главе ??.

2.9 Ввод и вывод данных

Ввод-вывод данных в языке C++ осуществляется либо с помощью функций ввода-вывода в стиле C, либо с использованием библиотеки классов C++. Преимущество объектов C++ в том, что они легче в использовании, особенно если ввод-вывод достаточно простой. Функции ввода-вывода унаследованные от C более громоздкие, но более гибко управляют форматированным выводом данных.

Функция

`printf(строка форматов, список выводимых переменных);`

выполняет форматированный *вывод переменных*, указанных в списке, в соответствии со строкой форматов.

Функция

`scanf(строка форматов, список адресов вводимых переменных);`

выполняет *ввод переменных*, адреса которых указаны в списке, в соответствии со строкой форматов.

Строка форматов содержит символы, которые будут выводиться на экран или запрашиваться с клавиатуры и так называемые спецификации. *Спецификации* это строки, которые начинаются символом % и выполняют управление форматированием:

% флаг ширина . точность модификатор тип

Параметры **флаг**, **ширина**, **точность** и **модификатор** в спецификациях могут отсутствовать. Значения параметров спецификаций приведены в таблице 2.10.

Таблица 2.10: Символы управления

Параметр	Назначение
Флаги	
-	Выравнивание числа влево. Правая сторона дополняется пробелами. По умолчанию выравнивание вправо.
+	Перед числом выводится знак «+» или «-»
Пробел	Перед положительным числом выводится пробел, перед отрицательным «-»
#	Выводится код системы счисления: 0 — перед восьмеричным числом, 0x (0X) перед шестнадцатеричным числом.
Ширина	
n	Ширина поля вывода. Если n позиций недостаточно, то поле вывода расширяется до минимально необходимого. Незаполненные позиции заполняются пробелами.
0n	То же, что и n, но незаполненные позиции заполняются нулями.
Точность	
ничего	Точность по умолчанию
n	Для типов e, E, f выводить n знаков после десятичной точки
Модификатор	
h	Для d, i, o, u, x, X тип short int.
l	Для d, i, o, u, x, X тип long int.
Тип	

Таблица 2.10 — продолжение

Параметр	Назначение
c	При вводе символьный тип <code>char</code> , при выводе один байт.
d	Десятичное <code>int</code> со знаком.
i	Десятичное <code>int</code> со знаком.
o	Восьмеричное <code>int unsigned</code> .
u	Десятичное <code>int unsigned</code> .
x, X	Шестнадцатеричное <code>int unsigned</code> , при <code>x</code> используются символы <code>a-f</code> , при <code>X</code> — <code>A - F</code> .
f	Значение со знаком вида <code>[-]dddd.dddd</code> .
e	Значение со знаком вида <code>[-]d.dddde[+ -]ddd</code> .
E	Значение со знаком вида <code>[-]d.ddddE[+ -]ddd</code> .
g	Значение со знаком типа <code>e</code> или <code>f</code> в зависимости от значения и точности.
G	Значение со знаком типа <code>e</code> или <code>F</code> в зависимости от значения и точности.
s	Строка символов.

Кроме того, строка форматов может содержать некоторые специальные символы, которые приведены в таблице 2.11.

Таблица 2.11: Специальные символы

Символ	Назначение
<code>\b</code>	Сдвиг текущей позиции влево.
<code>\n</code>	Перевод строки.
<code>\r</code>	Перевод в начало строки, не переходя на новую строку.
<code>\t</code>	Горизонтальная табуляция.
<code>\'</code>	Символ одинарной кавычки.
<code>\''</code>	Символ двойной кавычки.
<code>\?</code>	Символ ?

Первой строкой программы, в которой будут применяться функции ввода-вывода языка `C`, должна быть директива `#include <stdio.h>`. Заголовочный файл `stdio.h` содержит описание функций ввода-вывода.

Рассмотрим работу функций на примере следующей задачи.

Задача 2.2. Зная a , b , c — длины сторон треугольника, вычислить площадь S и периметр P этого треугольника.

Входные данные: a , b , c . Выходные данные: S , P .

Для вычисления площади применим формулу Герона:

$S = \sqrt{r \cdot (r - a) \cdot (r - b) \cdot (r - c)}$, где $r = \frac{a+b+c}{2}$ — полупериметр.

Далее приведены две программы для решения данной задачи и результаты их работы (рис. 2.7–2.8). Сравните работу функций `printf` и `scanf` в этих программах.

```
//ЗАДАЧА 2.2 Вариант первый
#include <iostream>
#include <stdio.h>
#include <math.h>
using namespace std;
int main()
{
    float a,b,c,S,r; //Описание переменных.
    printf("a="); //Вывод на экран символов a=.
    //В функции scanf для вычисления адреса
    //переменной применяется операция &.
    scanf("%f",&a); //Запись в переменную a значения
    //введенного с клавиатуры.
    printf("b="); //Вывод на экран символов b=.
    scanf("%f",&b); //Запись в переменную b значения
    //введенного с клавиатуры.
    printf("c="); //Вывод на экран символов c=
    scanf("%f",&c); //Запись в переменную c значения
    //введенного с клавиатуры.
    r=(a+b+c)/2; //Вычисление полупериметра.
    S=sqrt(r*(r-a)*(r-b)*(r-c)); //Вычисление площади треугольника.
    printf("S=%5.2f \t",S); //Вывод символов S=,
    //значения S и символа
    //табуляции \t.
    //Спецификация %5.2f
    //означает, что будет
    //выведено вещественное
    //число из пяти знаков,
    //два из которых после точки.
    printf("p=%5.2f \n",2*r); //Вывод символов p=,
    //значения выражения 2*r
    //и символа окончания строки.
    //Оператор printf("S=%5.2f \t p=%5.2f \n",S,2*r);
    //выдаст тот же результат.
    return 0;
}
```

//ЗАДАЧА 2.2. Вариант второй

```
#include <iostream>
```

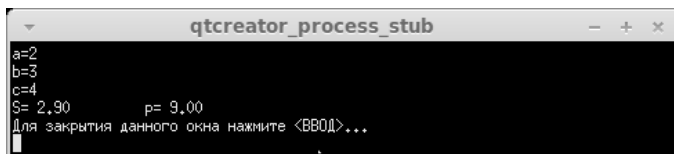


Рис. 2.7. Результаты работы программы к задаче 2.2 (вариант 1)

```
#include <stdio.h>
#include <math.h>
using namespace std;
int main()
{
    float a,b,c,S,r;
    printf("Vvedite a, b, c \n"); //Вывод на экран строки символов.
    scanf("%f%f%f",&a,&b,&c); //Ввод значений.
    r=(a+b+c)/2;
    S=sqrt(r*(r-a)*(r-b)*(r-c));
    printf("S=%5.2f \t p=%5.2f \n",S,2*r); //Вывод результатов.
    return 0;
}
```

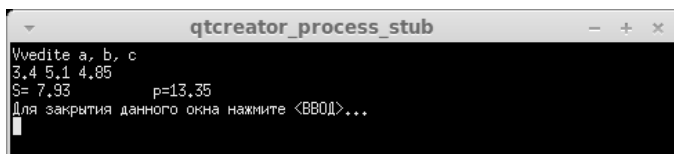


Рис. 2.8. Результаты работы программы к задаче 2.2 (вариант 2)

2.9.1 Объектно-ориентированные средства ввода-вывода.

Описание объектов для управления вводом-выводом содержится в заголовочном файле `iostream`. При подключении этого файла с помощью директивы `#include <iostream>` в программе автоматически создаются *объекты-поток*⁸ `cin` для ввода с клавиатуры и `cout` для

⁸Поток — виртуальный канал связи, создаваемый в программе для передачи данных

вывода на экран, а так же операции помещения в поток << и чтения из потока >>.

Итак, с помощью объекта `cin` и операции >> можно ввести значение любой переменной. Например, если переменная `i` описана как целочисленная, то команда `cin>> i;` означает, что в переменную `i` будет записано некое целое число, введенное с клавиатуры. Если нужно ввести несколько переменных, следует написать `cin>>x>>y>>z;`.

Объект `cout` и операция << позволяют вывести на экран значение любой переменной или текст. Текст необходимо заключать в двойные кавычки, кроме того, допустимо применение специальных символов `\t` и `\n` (таблица 2.11). Запись `cout<<i;` означает вывод на экран значения переменной `i`. А команда `cout<<x<<"\t"<<y;` выведет на экран значения переменных `x` и `y` разделенные символом табуляции.

Задача 2.3. Дано трехзначное число. Записать его цифры в обратном порядке и вывести на экран новое число.

Разберем решение данной задачи на конкретном примере. Здесь будут использоваться операции целочисленной арифметики.

Пусть $P=456$. Вычисление остатка от деления числа P на 10 даст его последнюю цифру (количество единиц в числе P): $456 \% 10 = 6$.

Операция деления нацело числа P на 10 позволит уменьшить количество разрядов и число станет двузначным:

$$456 / 10 = 45.$$

Остаток от деления полученного числа на 10 будет следующей цифрой числа P (количество десятков в числе P):

$$45 \% 10 = 5.$$

Последнюю цифру числа P (количество сотен) можно найти так:

$$456 / 100 = 4.$$

Так как в задаче требовалось записать цифры числа P в обратном порядке, значит в новом числе будет 6 сотен, 5 десятков и 4 единицы:

$$S = 6 \cdot 100 + 5 \cdot 10 + 4 = 654.$$

Далее приведен текст программы, реализующей данную задачу для любого трехзначного числа.

```
#include <iostream>
using namespace std;
int main(int argc, char *argv[])
{
    unsigned int P, S; //Определение целочисленных
                       //переменных без знака.
    cout<<"P=";       //Вывод на экран символов P=.
    cin>>P;            //Ввод заданного числа P.
    S=P%10*100+P/10%10*10+P/100; //Вычисление нового числа S.
```

```
cout<<"S="<<S<<endl;           //Вывод на экран символов S=
//и значения переменной S.
return 0;
}
```

Задача 2.4. Пусть целочисленная переменная *i* и вещественная переменная *d* вводятся с клавиатуры. Определить размер памяти, отведенной для хранения этих переменных и их суммы, в байтах. Вычислить сколько памяти будет выделено для хранения строки **С Новым Годом!**. Вывести на экран размеры различных типов данных языка C++ в байтах.

Далее приведён текст программы.

```
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    int i;           //Определение целочисленной переменной.
    double d;        //Определение вещественной переменной.

    cout<<"i= "; cin>>i; //Ввод переменной i.
    cout<<"d= "; cin>>d; //Ввод переменной d.
    //Размер памяти, отведенной под переменную i.
    cout<<"Размер i: "<<sizeof i<<"\n";
    //Размер памяти, отведенной под переменную d.
    cout<<"Размер d: "<<sizeof d<<"\n";
    //Размер памяти, отведенной под значение выражения i+d.
    cout<<"Размер i+d: "<<sizeof (i+d)<<"\n";
    cout<<"Размер строки <С Новым Годом!>:";
    //Размер памяти, отведенной под строку.
    cout<<sizeof "С Новым годом!"<<"\n";
    //Вычисление размеров различных типов данных:
    cout<<"Размер char: "<<sizeof (char)<<"\n";
    cout<<"Размер int: "<<sizeof (int)<<"\n";
    cout<<"Размер short int: "<<sizeof (short int)<<"\n";
    cout<<"Размер long int: "<<sizeof (long int)<<"\n";
    cout<<"Размер long long int:";
    cout<<sizeof (long long int)<<"\n";
    cout<<"Размер float: "<<sizeof (float)<<"\n";
    cout<<"Размер double: "<<sizeof (double)<<"\n";
    cout<<"Размер long double: "<<sizeof (long double)<<"\n";
    return 0;
}
```

Результаты работы программы⁹

⁹Обратите внимание, что при использовании кодировки utf-16 один кириллический символ занимает в памяти занимает 2 байта.

```
i= 23
d= 45.76
Размер i: 4
Размер d: 8
Размер i+d: 8
Размер <С Новым годом!>:26
Размер char: 1
Размер int: 4
Размер short int: 2
Размер long int: 4
Размер long long int:8
Размер float: 4
Размер double: 8
Размер long double: 12
```

2.10 Задачи для самостоятельного решения

2.10.1 Ввод-вывод данных. Операция присваивания.

Разработать программу на языке C++. Все входные и выходные данные в задачах — *вещественные числа*. Для ввода и вывода данных использовать функции `scanf` и `printf`.

1. Даны катеты прямоугольного треугольника a и b . Найти гипотенузу c и углы треугольника α , β , χ .
2. Известна гипотенуза c и прилежащий угол α прямоугольного треугольника. Найти площадь треугольника S и угол β .
3. Известна диагональ квадрата d . Вычислить площадь S и периметр P квадрата.
4. Дан диаметр окружности d . Найти ее длину L и площадь круга S .
5. Даны три числа — a , b , c . Найти их среднее арифметическое и среднее геометрическое.
6. Даны катеты прямоугольного треугольника a и b . Найти его гипотенузу c и периметр P .
7. Дан длина окружности L . Найти ее радиус R и площадь круга S .
8. Даны два ненулевых числа a и b . Найти сумму S , разность R , произведение P и частное d их квадратов.
9. Поменять местами содержимое переменных A и B и вывести новые значения A и B .
10. Точки A и B заданы координатами на плоскости: $A(x_1, y_1)$, $B(x_2, y_2)$. Найти длину отрезка AB .

11. Заданы два катета прямоугольного треугольника a и b . Вычислить его площадь S и периметр P .
12. Даны переменные A, B, C . Изменить их значения, переместив содержимое A в B , B — в C , C — в A , и вывести новые значения переменных A, B, C .
13. Известна диагональ ромба d . Вычислить его площадь S и периметр P .
14. Найти значение функции $y = 4 \cdot (x + 1)^3 + 5 \cdot (x - 1)^5 + 2$ и ее производной при заданном значении x .
15. Даны два ненулевых числа a и b . Найти сумму S , разность R , произведение P и частное D их модулей.
16. Известны координаты вершин квадрата $ABCD$: $A(x_1, y_1)$ и $C(x_2, y_2)$. Найти его площадь S и периметр P .
17. Даны длины сторон прямоугольника a и b . Найти его площадь S и периметр P .
18. Известно значение периметра P равностороннего треугольника. Вычислить его площадь S .
19. Задан периметр квадрата P . Вычислить сторону квадрата a , диагональ d и площадь S .
20. Дана сторона квадрата a . Вычислить периметр квадрата P , его площадь S и длину диагонали d .
21. Три точки заданы координатами на плоскости: $A(x_1, y_1)$, $B(x_2, y_2)$ и $C(x_3, y_3)$. Найти длины отрезков AB и BC .
22. Даны переменные A, B, C . Изменить их значения, переместив содержимое A в C , C — в B , B — в A , и вывести новые значения переменных A, B, C .
23. Даны числа a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 . Найти их среднее арифметическое и среднее геометрическое значения.
24. Найти значение функции $y = \frac{3}{2} \cdot (x + 3)^4 - \frac{1}{5} \cdot (x - 1)^5$ и ее производной при заданном значении x .
25. Точки A и B заданы координатами в пространстве: $A(x_1, y_1, z_1)$, $B(x_2, y_2, z_2)$. Найти длину отрезка AB .

2.10.2 Операции целочисленной арифметики.

Разработать программу на языке C++. Все входные данные в задачах — целые числа. Для ввода и вывода данных использовать объектно-ориентированные средства ввода-вывода.

1. Расстояние L задано в сантиметрах. Найти количество полных метров в нем и остаток в сантиметрах.

2. Масса M задана в килограммах. Найти количество полных тонн в ней и остаток в килограммах.
3. Дан размер файла B в байтах. Найти количество полных килобайтов, которые занимает данный файл и остаток в байтах.
4. Дано двузначное число. Вывести на экран количество десятков и единиц в нем.
5. Дано двузначное число. Найти сумму его цифр.
6. Дано двузначное число. Найти произведение его цифр.
7. Дано двузначное число. Вывести число, полученное при перестановке цифр исходного числа.
8. Дано трехзначное число. Определить сколько в нем единиц, десятков и сотен.
9. Дано трехзначное число. Найти сумму его цифр.
10. Дано трехзначное число. Найти произведение его цифр.
11. Дано трехзначное число. Вывести число, полученное при перестановке цифр сотен и десятков исходного числа.
12. Дано трехзначное число. Вывести число, полученное при перестановке цифр сотен и единиц исходного числа.
13. Дано трехзначное число. Вывести число, полученное при перестановке цифр десятков и единиц исходного числа.
14. С начала суток прошло N секунд. Найти количество полных минут, прошедших с начала суток и остаток в секндах.
15. С начала суток прошло N секунд. Найти количество полных часов, прошедших с начала суток и остаток в секндах.
16. Дано двузначное число $\alpha \leq 88$. Вывести на экран число, которое получится если каждую цифру числа a увеличить на единицу.
17. Дано двузначное число $\alpha \geq 22$. Вывести на экран число, которое получится если каждую цифру числа a уменьшить на единицу.
18. Расстояние L задано в метрах. Найти количество полных километров в нем и остаток в метрах.
19. Масса M задана в граммах. Найти количество полных килограммов в ней и остаток в граммах.
20. Размер файла B дан в килобайтах. Найти количество полных мегабайтов, которые занимает данный файл и остаток в килобайтах.
21. Расстояние L задано в дециметрах. Найти количество полных метров в нем и остаток в сантиметрах.
22. С начала года прошло K дней. Найти количество полных недель, прошедших с начала года и осток в днях.
23. С начала года прошло K часов. Найти количество полных дней, прошедших с начала года и осток в часах.

24. Дано двузначное число $a \leq 44$. Вывести на экран число, которое получится если удвоить каждую цифру числа a .
25. Дано двузначное число $a \geq 22$. Вывести на экран число, которое получится если каждую цифру числа a уменьшить вдвое.

2.10.3 Встроенные математические функции

Разработать программу на языке C++. Все входные и выходные данные в задачах — *вещественные числа*. Для ввода и вывода данных использовать функции `scanf` и `printf`.

Вычислить значение выражения $y = f(x)$ при заданном значении x . Варианты заданий представлены в таблице 2.12.

Таблица 2.12: Задачи для самостоятельного решения

№	Выражение $f(x)$
1	$\sqrt[7]{x^2 + 2.7 \cdot \pi \cdot \cos \sqrt{ x^3 }} - 2 + e^x$
2	$\operatorname{tg}^4 x + \sin^2 \frac{\pi}{x} - e^{2x^2 + 3.6x - 1}$
3	$ x^4 - \cos x - \sqrt[9]{1 + \sqrt{x^6}} + \sin^3 \frac{\pi}{e^x + 1}$
4	$\log_4 e^x - 4 - \sqrt[7]{\left \frac{2 \cdot x}{3.21 + \cos^2 \frac{\pi}{7}} \right }$
5	$\sqrt[3]{\sqrt{ x }} + \operatorname{ctg}^2 x + \frac{e^x}{2 \cdot \pi} - x^3 $
6	$x^5 + \log_3^2(3x^2 + 5) + \sqrt[9]{(\pi - 6x^2)^2}$
7	$\frac{1 - \log x - \cos(2x - \pi) }{6 + x^{4x-1}} + \sqrt[5]{x^3}$
8	$e^{x + \frac{\pi}{3}} + \sqrt[3]{\operatorname{tg} \left \frac{x^5}{x^2 + 13.22} \right } + \cos^3 x$
9	$x^{1 + \frac{3 \cdot \pi}{4}} - 3x^3 - \sqrt[5]{(x + 1)^4 + \lg \left \frac{x}{x + 1} \right }$
10	$\sqrt[5]{x^3 + \cos \sqrt{ x^3 }} + \frac{e^x}{\cos(3 \cdot x + \frac{\pi}{15})}$
11	$e^{2x} + \sqrt[5]{\operatorname{ctg} \frac{(x - \pi)^9}{x^4 + 3.4}} + \sin^2 6.2x$
12	$\sqrt[5]{(x + \operatorname{tga})^2} - \frac{1 - \ln e^x + \cos \frac{\pi}{8} }{2}$

Таблица 2.12 — продолжение

№	Выражение $f(x)$
13	$\log(e^x + 27) - \sqrt{\left x^3 + \frac{\sqrt[5]{x^7} + 14}{\sin 5x + 5.1 \cdot \pi} \right }$
14	$\ln \cos(x - 2 \cdot \pi) - \sqrt[3]{1 + \frac{e^x}{\sin x - 3}}$
15	$\sqrt{\left x^3 + \frac{\sqrt[3]{x^4} - 1}{\sin x + \pi + e^x} \right }$
16	$\sqrt[3]{\frac{1 + 3 \cdot \pi}{1 + x^2}} + \arctg^2 x^3 $
17	$\tg^2 x + 3^{2x^2 - e^x} + \frac{\sqrt[7]{x^2}}{\cos^2 \pi x}$
18	$x^4 - \sqrt[5]{\pi - \sqrt{ x^3 }} + \sin^2 \frac{x}{x^2 + 1}$
19	$\log(e^x + 6) - \sqrt[3]{(x - 4)^2 + 1.47 \sin \sqrt{ \pi \cdot x }}$
20	$\frac{x^5}{\sin x - 7 } + \log^2(x^2 + 2.5) - \sqrt[3]{(\pi - 6.1x^2)^2}$
21	$\ctg^2 \frac{x \cdot \pi}{3} - \left(\sqrt{ x } - 3.4 \right)^{x^2 - 10} + \ln(x^2 + 3)$
22	$\log_5 x^3 - e^x - \sqrt[3]{\frac{2x}{\cos(x + 1.23 \cdot \pi)}}$
23	$\left \cos \frac{\pi}{7} - e^x \right - \sqrt[7]{2 + \sqrt{x^5}} + \ln \frac{x^4 + 1}{6}$
24	$\log(x^2 + 2) - \sin^2 x + \sqrt[5]{2 - \sqrt{ x }} + \sin \frac{\pi}{e^x + 1}$
25	$\log_2 e^x - \cos \frac{x}{\pi} + \sqrt[3]{\frac{ tg(2x) }{2.6 + x^2 + x^3}}$

Глава 3

Операторы управления

В этой главе описаны основные операторы языка C++: условный оператор `if`, оператор выбора `switch`, операторы цикла `while`, `do...while` и `for`. Изложена методика составления алгоритмов с помощью блок-схем. Приводится большое количество примеров составления программ различной сложности.

3.1 Основные конструкции алгоритма

При разработке простейших программ несложно перейти от словесного описания к написанию программы. Однако большинство реально разрабатываемых программ довольно сложные и созданию программы предшествует разработка алгоритма¹. *Алгоритм* — это чёткое описание последовательности действий, которые необходимо выполнить, для того чтобы при соответствующих исходных данных получить требуемый результат. Одним из способов представления алгоритма является *блок-схема*. При составлении блок-схемы все этапы решения задачи изображаются с помощью различных геометрических фигур. Эти фигуры называют блоками и, как правило, сопровождают надписями. Последовательность выполнения этапов указывают при помощи стрелок, соединяющих эти блоки. Типичные этапы решения задачи изображаются следующими геометрическими фигурами:

- блок начала-конца (рис. 3.1). Надпись внутри блока: «начало» («конец»);

¹От *algorithmi*, *algorismus*, первоначально латинская транслитерация имени математика аль-Хорезми.

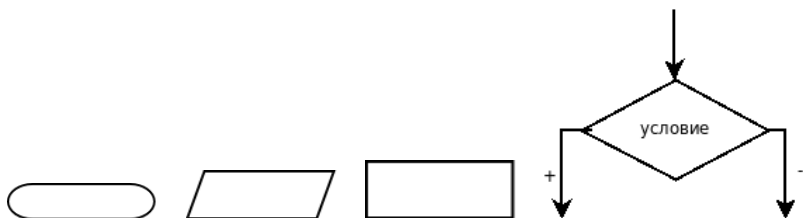


Рис. 3.1.
Блок начала-
конца алго-
ритма

Рис. 3.2.
Блок ввода-
вывода
данных

Рис. 3.3.
Арифметичес-
кий блок

Рис. 3.4. Условный блок

- блок ввода-вывода данных (рис. 3.2). Надпись внутри блока: ввод (вывод или печать) и список вводимых (выводимых) переменных;
- блок решения или арифметический (рис. 3.3). Внутри блока записывается действие, вычислительная операция или группа операций;
- условный блок (рис. 3.4). Логическое условие записывается внутри блока. В результате проверки условия осуществляется выбор одного из возможных путей (ветвей) вычислительного процесса.

Рассмотренные блоки позволяют описать три *основные конструкции алгоритма*: линейный процесс, разветвляющийся процесс и циклический процесс.

Линейный процесс это конструкция, представляющая собой последовательное выполнение двух или более операторов (рис. 3.5). *Разветвляющийся процесс* задает выполнение одного или другого оператора в зависимости от выполнения условия (рис. 3.6). *Циклический процесс* задает многократное выполнение оператора или группы операторов (рис. 3.7).

Не трудно заметить, что каждая из основных конструкций алгоритма имеет один вход и один выход. Это позволяет вкладывать конструкции друг в друга произвольным образом и составлять алгоритмы для решения задач любой сложности.

Одним из важных понятий при написании программ на C(C++) является понятие составного оператора.

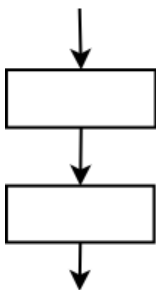


Рис. 3.5. Линейный процесс

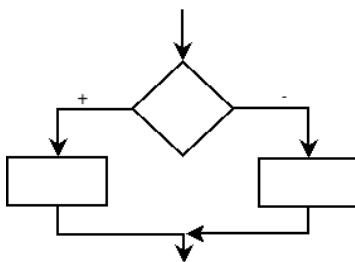


Рис. 3.6. Разветвляющийся процесс

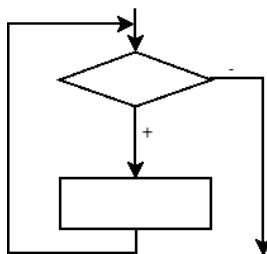


Рис. 3.7. Циклический процесс

3.2 Составной оператор

Составной оператор — это группа операторов, отделенных друг от друга точкой с запятой, начинающихся с открывающей фигурной скобки { и заканчивающихся закрывающей фигурной скобкой }:

```
{
    оператор_1;
    ...
    оператор_n;
}
```

Транслятор воспринимает составной оператор как одно целое.

Рассмотрим операторы языка C++, реализующие основные конструкции алгоритма.

3.3 Условные операторы

Одна из основных конструкций алгоритма — *разветвляющийся процесс*. Он реализован в языке C++ двумя условными операторами: `if` и `switch`. Рассмотрим каждый из них.

3.3.1 Условный оператор

При решении большинства задач порядок вычислений зависит от определенных условий, например, от исходных данных или от промежуточных результатов, полученных на предыдущих шагах программы. Для организации вычислений в зависимости от какого-либо усло-

вия в C++ предусмотрен *условный оператор* `if`, который в общем виде записывается следующим образом:

```
if (условие) оператор_1; else оператор_2;
```

где *условие* это логическое (или целое) выражение, переменная или константа.

Работает условный оператор следующим образом. Сначала вычисляется значение выражения, записанного в виде условия. Если оно не равно нулю, т.е. имеет значение истина (`true`), выполняется `оператор_1`. В противном случае, когда выражение равно нулю, т.е. имеет значение ложь (`false`), то — `оператор_2`. Алгоритм, который реализован в условном операторе `if`, представлен на рис. 3.8.

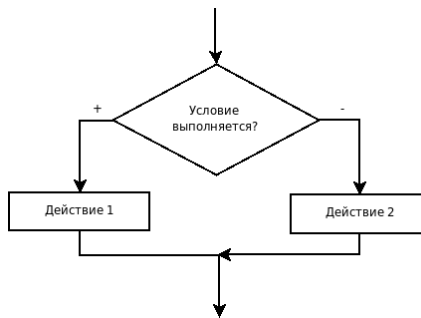


Рис. 3.8. Алгоритм условного оператора `if ... else`

Например, чтобы сравнить значения переменных `a` и `b` нужно написать следующий программный код:

```
cin>>a; cin>>b;
if (a==b) cout<<"a равно b";
else cout<<"a не равно b";
```

Внимание! Не путайте знак проверки равенства `==` и оператор присваивания `=`. Например, в записи `if (a=0) b=1;` синтаксической ошибки нет. Операция присваивания `a=0` формирует результат и его значение проверяется в качестве условия. В данном примере присваивание `b=1` не будет выполнено никогда, так как переменная `a` всегда будет принимать значение равное нулю, то есть ложь. Верная запись: `if (a==0) b=1;`

Внимание! Если в задаче требуется, чтобы в зависимости от значения условия выполнялся не один оператор, а несколько, их необхо-

можно заключать в фигурные скобки, как составной оператор. В этом случае компилятор воспримет группу операторов как один:

```
if (условие)
{
    оператор_1;
    оператор_2;
    ...
}
else
{
    оператор_3;
    оператор_4;
    ...
}
```

Альтернативная ветвь **else** в условном операторе может отсутствовать, если в ней нет необходимости:

```
if (условие) оператор;
```

или

```
if (условие)
{
    оператор_1;
    оператор_2;
    ...
}
```

В таком «усеченном» виде условный оператор работает так: **оператор** (группа операторов) либо выполняется, либо пропускается, в зависимости от значения выражения представляющего условие. Алгоритм этого условного процесса представлен на рис. 3.9.

Пример применения условного оператора, без альтернативной ветви **else** может быть таким:

```
if (условие)
cin>>a; cin>>b;
c=0;
//Значение переменной c изменяется
//только при условии, что a не равно b
if (a!=b) c=a+b;
cout<<"c="<<c;
```

Условные операторы могут быть вложены друг в друга. При вложениях условных операторов всегда действует правило: альтернатива **else** считается принадлежащей ближайшему **if**. Например, в записи

```
if (условие_1) if (условие_2) оператор_А; else оператор_Б;
```

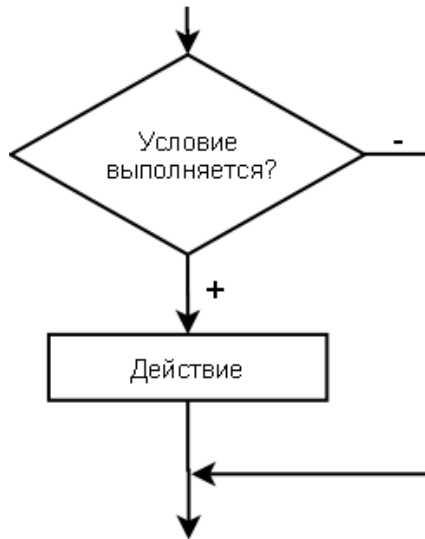


Рис. 3.9. Алгоритм условного оператора if

оператор_Б относится к условию_2, а в конструкции
if (условие_1) {if (условие_2) оператор_А;}
else оператор_Б;
он принадлежит оператору if с условием_1.

Рассмотрим несколько задач с применением условных процессов.

Задача 3.1. Дано вещественное число x . Для функции, график которой приведен на рис. 3.10 вычислить $y = f(x)$.

Аналитически функцию представленную на рис. 3.10 можно записать так:

$$y(x) = \begin{cases} 4, & x \leq -2 \\ 1, & x \geq 1 \\ x^2, & -2 < x < 1 \end{cases}$$

Составим словесный алгоритм решения этой задачи:

1. Начало алгоритма.
2. Ввод числа x (аргумент функции).
3. Если значение x меньше либо равно -2, то переход к п. 4, иначе переход к п. 5.

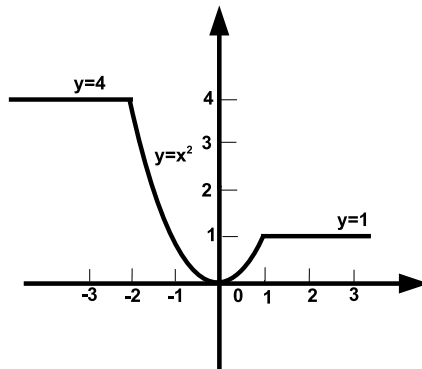


Рис. 3.10. Графическое представление задачи 3.1

4. Вычисление значения функции: $y = 4$, переход к п. 8.
5. Если значение x больше либо равно 1, то переход к п. 6, иначе переход к п. 7.
6. Вычисление значения функции: $y = 1$, переход к п. 8.
7. Вычисление значения функции: $y = x^2$.
8. Вывод значений аргумента x и функции y .
9. Конец алгоритма.

Блок-схема соответствующая описанному алгоритму представлена на рис. 3.11.

Текст программы на языке C++ будет иметь вид:

```
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    float X,Y;
    cout<<"X="; cin>>X;
    if (X<=-2) Y=4;
    else if (X>=1) Y=1;
    else Y=X*X;
    cout <<"Y=" <<Y<< endl;
    return 0;
}
```

Задача 3.2. Даны вещественные числа x и y . Определить принадлежит ли точка с координатами $(x; y)$ заштрихованной области (рис. 3.12).

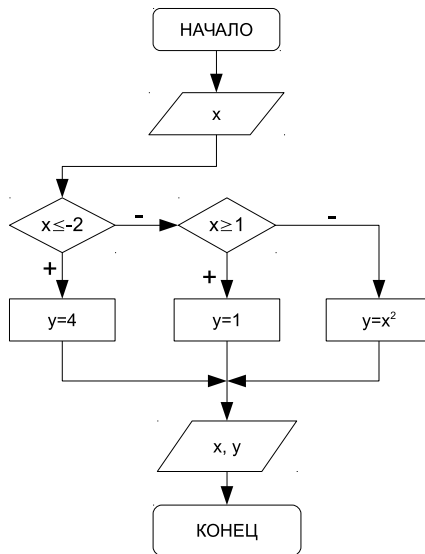


Рис. 3.11. Блок-схема алгоритма решения задачи 3.1

Как показано на рис. 3.12 плоскость ограничена линиями $x = -1$, $x = 3$, $y = -2$ и $y = 4$. Значит точка с координатами $(x; y)$ будет принадлежать этой плоскости, если будут выполняться следующие условия: $x \geq -1$, $x \leq 3$, $y \geq -2$ и $y \leq 4$. Иначе точка лежит за пределами плоскости.

Блок-схема, описывающая алгоритм решения данной задачи представлена на рис. 3.13.

Текст программы к задаче 3.2:

```

#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{float X,Y;
cout<<"X="; cin>>X;
cout<<"Y="; cin>>Y;
if (X>=-1 && X<=3 && Y>=-2 && Y<=4)
    cout <<"Точка принадлежит плоскости"<< endl;
else
    cout<<"Точка не принадлежит плоскости"<<endl;
return 0;
}

```

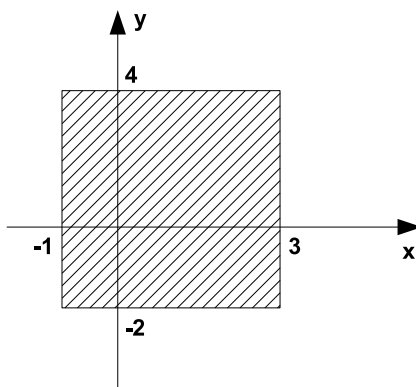


Рис. 3.12. Графическое представление задачи 3.2

Задача 3.3. Даны вещественные числа x и y . Определить принадлежит ли точка с координатами $(x; y)$ заштрихованной области (рис. 3.14).

Составим уравнения линий, ограничивающих заданные плоскости. В общем виде уравнение прямой проходящей через точки с координатами (x_1, y_1) и (x_2, y_2) имеет вид:

$$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1}$$

Треугольник в первой координатной области ограничен линиями, проходящими через точки:

1. $(0, 1) - (4, 3)$;
2. $(4, 3) - (5, 1)$;
3. $(5, 1) - (0, 1)$.

Следовательно, уравнение первой линии

$$\frac{x - 0}{4 - 0} = \frac{y - 1}{3 - 1} \Rightarrow \frac{x}{4} = \frac{y - 1}{2} \Rightarrow y = 1 + \frac{1}{2} \cdot x,$$

уравнение второй линии

$$\frac{x - 4}{5 - 4} = \frac{y - 3}{1 - 3} \Rightarrow x - 4 = \frac{y - 3}{-2} \Rightarrow -2 \cdot x + 8 = y - 3 \Rightarrow y = -2 \cdot x + 11$$

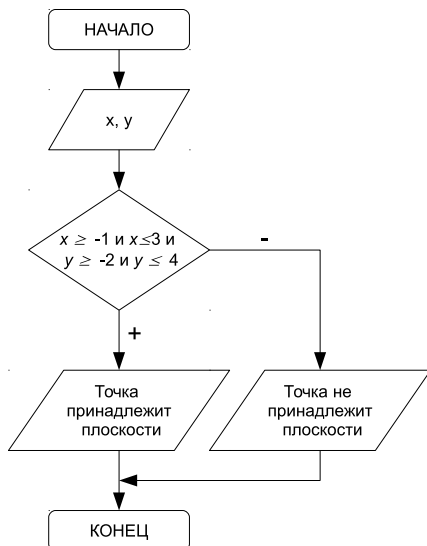


Рис. 3.13. Алгоритм решения задачи 3.2

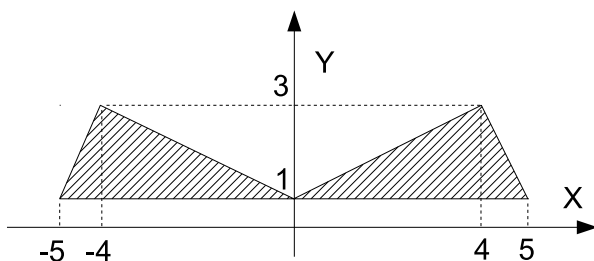


Рис. 3.14. Графическое представление задачи 3.3

и уравнение третьей линии $y = 1$.

Линии, которые формируют треугольник во второй координатной области, проходят через точки:

1. $(0, 1) - (-4, 3)$;
2. $(-4, 3) - (-5, 1)$;
3. $(-5, 1) - (0, 1)$;

Следовательно, уравнение первой линии

$$\frac{x-0}{-4-0} = \frac{y-1}{3-1} \Rightarrow \frac{x}{-4} = \frac{y-1}{2} \Rightarrow y = 1 - \frac{1}{2} \cdot x,$$

уравнение второй линии

$$\frac{x+4}{-5+4} = \frac{y-3}{1-3} \Rightarrow \frac{x+4}{-1} = \frac{y-3}{-2} \Rightarrow -2 \cdot x - 8 = -y + 3 \Rightarrow y = 2 \cdot x + 11$$

и уравнение третьей линии $y = 1$.

Таким образом, условие попадания точки в заштрихованную часть плоскости имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} y \leq 1 + \frac{1}{2} \cdot x \\ y \leq -2 \cdot x + 11 \\ y \geq 1 \end{array} \right. \quad \text{или} \quad \left\{ \begin{array}{l} y \leq 1 - \frac{1}{2} \cdot x \\ y \leq 2 \cdot x + 11 \\ y \geq 1 \end{array} \right. .$$

Далее приведен текст программы для решения задачи 3.3.

```
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    float X,Y;
    cout<<"X="; cin>>X;
    cout<<"Y="; cin>>Y;
    if ((Y<=1+(float)1/2*X && Y<=-2*X+11 && Y>=1) ||
        (Y<=1-(float)1/2*X && Y<=2*X+11 && Y>=1))
        cout <<"Точка принадлежит плоскости"<< endl;
    else
        cout<<"Точка принадлежит плоскости"<<endl;
    return 0;
}
```

Задача 3.4. Написать программу решения квадратного уравнения $ax^2 + bx + c = 0$.

Исходные данные: вещественные числа a , b и c — коэффициенты квадратного уравнения.

Результаты работы программы: вещественные числа x_1 и x_2 — корни квадратного уравнения либо сообщение о том, что корней нет.

Вспомогательные переменные: вещественная переменная d , в которой будет храниться дискриминант квадратного уравнения.

Составим словесный алгоритм решения этой задачи.

1. Начало алгоритма
2. Ввод числовых значений переменных a , b и c .

3. Вычисление значения дискриминанта d по формуле $d = b^2 - 4ac$
4. Если $d < 0$, то переход к п.5, иначе переход к п.6.
5. Вывод сообщения "Корней нет" и переход к п.8.
6. Вычисление корней $x1 = \frac{-b+\sqrt{d}}{2a}$ и $x2 = \frac{-b-\sqrt{d}}{2a}$.
7. Вывод значений $x1$ и $x2$ на экран
8. Конец алгоритма.

Блок-схема, соответствующая этому описанию представлена на рис. 3.15.

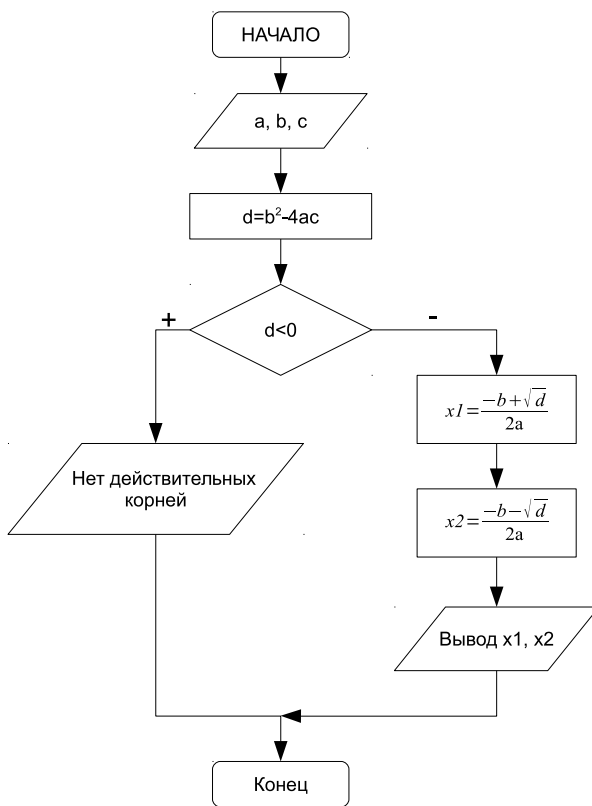


Рис. 3.15. Алгоритм решения квадратного уравнения

Текст программы, которая реализует решение квадратного уравнения:

```

#include <iostream>
#include <math.h>
using namespace std;
int main()
{
    float a,b,c,d,x1,x2;
    //Ввод значений коэффициентов квадратного уравнения.
    cout<<"a="; cin>>a;
    cout<<"b="; cin>>b;
    cout<<"c="; cin>>c;
    d=b*b-4*a*c;      //Вычисление дискриминанта.
    if (d<0)
        //Если дискриминант отрицательный,
        //то вывод сообщения, о том что корней нет,
        cout<<"Нет вещественных корней";
    else
    {
        //иначе вычисление корней
        x1=(-b+sqrt(d))/2/a;
        x2=(-b-sqrt(d))/(2*a);
        //и вывод их значений.
        cout<<"X1="<<x1<<"\t X2="<<x2<<"\n";
    }
    return 0;
}

```

Задача 3.5. Составить программу нахождения действительных и комплексных корней квадратного уравнения $ax^2 + bx + c = 0$.

Исходные данные: вещественные числа a , b и c — коэффициенты квадратного уравнения.

Результаты работы программы: вещественные числа x_1 и x_2 — действительные корни квадратного уравнения либо x_1 и x_2 — действительная и мнимая части комплексного числа.

Вспомогательные переменные: вещественная переменная d , в которой будет храниться дискриминант квадратного уравнения.

Можно выделить следующие этапы решения задачи:

1. Ввод коэффициентов квадратного уравнения a , b и c .
2. Вычисление дискриминанта d по формуле $d = b^2 - 4ac$.
3. Проверка знака дискриминанта. Если $d \geq 0$, то вычисление действительных корней: $x_1 = \frac{-b+\sqrt{d}}{2a}$ и $x_2 = \frac{-b-\sqrt{d}}{2a}$ и вывод их на экран. При отрицательном дискриминанте выводится сооб-

щение о том, что действительных корней нет, и вычисляются комплексные корни² $x_1 = \frac{-b}{2a} + i\frac{\sqrt{|d|}}{2a}$, $x_2 = \frac{-b}{2a} - i\frac{\sqrt{|d|}}{2a}$.

У обоих комплексных корней действительные части одинаковые, а мнимые отличаются знаком. Поэтому можно в переменной x_1 хранить действительную часть числа $\frac{-b}{2a}$, в переменной x_2 — модуль мнимой части $\frac{\sqrt{|d|}}{2a}$, а в качестве корней вывести $x_1 + i \cdot x_2$ и $x_1 - i \cdot x_2$.

На рис. 3.16 изображена блок-схема решения задачи. Блок 1 предназначен для ввода коэффициентов квадратного уравнения. В блоке 2 осуществляется вычисление дискриминанта. Блок 3 осуществляет проверку знака дискриминанта, если дискриминант отрицателен, то корни комплексные, их расчет происходит в блоке 4 (действительная часть корня записывается в переменную x_1 , модуль мнимой — в переменную x_2), а вывод — в блоке 5 (первый корень $x_1 + i \cdot x_2$, второй — $x_1 - i \cdot x_2$). Если дискриминант положителен, то вычисляются действительные корни уравнения (блок 6) и выводятся на экран (блок 7).

Текст программы, реализующей поставленную задачу:

```
#include <iostream>
#include <math.h>
using namespace std;
int main()
{
    float a,b,c,d,x1,x2;
    cout<<"a="; cin>>a;
    cout<<"b="; cin>>b;
    cout<<"c="; cin>>c;
    d=b*b-4*a*c;
    if (d<0)
    { //Если дискриминант отрицательный, то вывод соответствующего сообщения.
        cout<<"Нет вещественных корней \n";
        x1=-b/(2*a); //Вычисление действительной части комплексных корней.
        x2=sqrt(fabs(d))/(2*a); //Вычисление модуля мнимой
                                //части комплексных корней
        //Сообщение о комплексных корнях уравнения вида ax^2+bx+c=0.
        cout<<"Комплексные корни уравнения \n";
        cout<<a<<"x^2+"<<b<<"x+"<<c<<"=0 \n";
        //Вывод значений комплексных корней в виде x1 ± ix2
        if (x2>=0)
        {
```

²Комплексные числа записываются в виде $a+ib$, где a — действительная часть комплексного числа, b — мнимая часть комплексного числа, i — мнимая единица $\sqrt{-1}$.

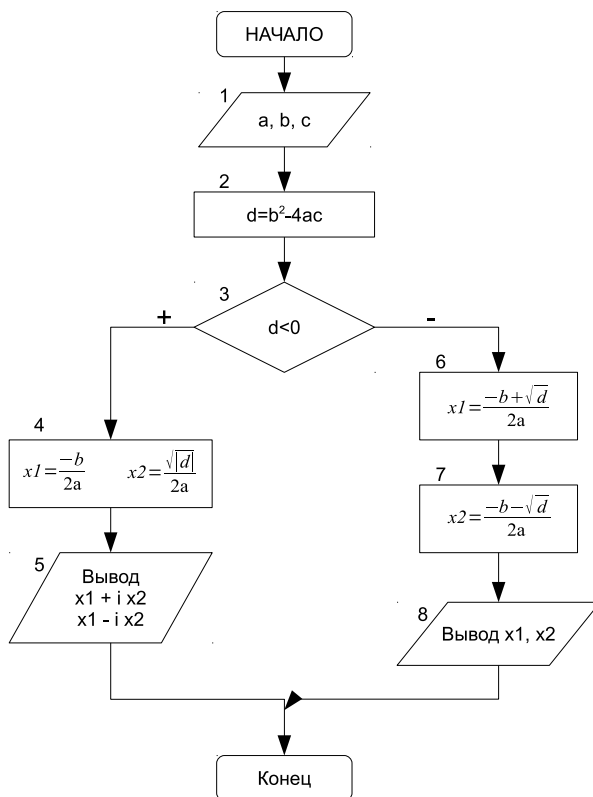


Рис. 3.16. Алгоритм решения задачи 3.5

```

    cout<<x1<<" "<<x2<<" i\t ";
    cout<<x1<<" - "<<x2<<" i\n ";
}
else
{
    cout<<x1<<" - "<<fabs(x2)<<" i\t ";
    cout<<x1<<" + "<<fabs(x2)<<" i\n ";
}
}
else
{
    //Если дискриминант положительный, вычисление действительных корней
    //и вывод их на экран.

```

```

x1=(-b+sqrt(d))/2/a;
x2=(-b-sqrt(d))/(2*a);
cout<<"Вещественные корни уравнения \n";
cout<<a<<"x^2+"<<b<<"x+"<<c<<"=0 \n";
cout<<"X1="<<x1<<"\t X2="<<x2<<"\n";
}
return 0;
}

```

Результаты работы программы к задаче 3.5 показаны на ниже.

```

a=-5
b=-3
c=-4
Нет вещественных корней
Комплексные корни уравнения
-5x^2+-3x+-4=0
-0.3-0.842615i -0.3+0.842615i
=====
a=2
b=-3
c=1
Вещественные корни уравнения
2x^2+-3x+1=0
X1=1 X2=0.5

```

Задача 3.6. Составить программу для решения кубического уравнения $ax^3 + bx^2 + cx + d = 0$.

Кубическое уравнение имеет вид

$$ax^3 + bx^2 + cx + d = 0 \quad (3.1)$$

После деления на a уравнение 3.1 принимает канонический вид:

$$x^3 + rx^2 + sx + t = 0, \quad (3.2)$$

где $r = \frac{b}{a}$, $s = \frac{c}{a}$, $t = \frac{d}{a}$.

В уравнении 3.2 сделаем замену $x = y - \frac{r}{3}$ и получим приведенное уравнение:

$$y^3 + py + q = 0, \quad (3.3)$$

где $p = \frac{3s-r^2}{3}$, $q = \frac{2r^3}{27} - \frac{rs}{3} + t$.

Число действительных корней приведенного уравнения (3.3) зависит от знака дискриминанта (табл. 3.1):

$$D = \left(\frac{p}{3}\right)^3 + \left(\frac{q}{2}\right)^2.$$

Таблица 3.1: Количество корней кубического уравнения

Дискриминант	Количество действительных корней	Количество комплексных корней
$D \geq 0$	1	2
$D < 0$	3	-

Корни приведенного уравнения могут быть рассчитаны по формулам Кардано:

$$\begin{aligned} y_1 &= u + v \\ y_2 &= \frac{-u+v}{2} + \frac{u-v}{2}i\sqrt{3} \\ y_3 &= \frac{-u+v}{2} - \frac{u-v}{2}i\sqrt{3}, \end{aligned} \quad (3.4)$$

где $u = \sqrt[3]{\frac{-q}{2} + \sqrt{D}}$, $v = \sqrt[3]{\frac{-q}{2} - \sqrt{D}}$.

При отрицательном дискриминанте уравнение (3.1) имеет три действительных корня, но они будут вычисляться через вспомогательные комплексные величины. Чтобы избавиться от этого, можно воспользоваться формулами:

$$\begin{aligned} y_1 &= 2\sqrt[3]{\rho} \cos\left(\frac{\phi}{3}\right), \\ y_2 &= 2\sqrt[3]{\rho} \cos\left(\frac{\phi}{3} + \frac{2\pi}{3}\right), \\ y_3 &= 2\sqrt[3]{\rho} \cos\left(\frac{\phi}{3} + \frac{4\pi}{3}\right), \end{aligned} \quad (3.5)$$

где $\rho = \sqrt{\frac{-p^3}{27}}$, $\cos(\phi) = \frac{-q}{2\rho}$.

Таким образом, при положительном дискриминанте кубического уравнения (3.3) расчет корней будем вести по формулам (3.4), а при отрицательном — по формулам (3.5). После расчета корней приведенного уравнения (3.3) по формулам (3.4) или (3.5) необходимо по формулам

$$x_k = y_k - \frac{r}{3}, \quad k = 1, 2, 3, \dots$$

перейти к корням заданного кубического уравнения (3.1).

Блок-схема решения кубического уравнения представлена на рис. 3.18.

Описание блок-схемы. В блоке 1 вводятся коэффициенты кубического уравнения, в блоках 2–3 рассчитываются коэффициенты канонического и приведенного уравнений. Блок 4 предназначен для вычисления дискриминанта. В блоке 5 проверяется знак дискриминанта

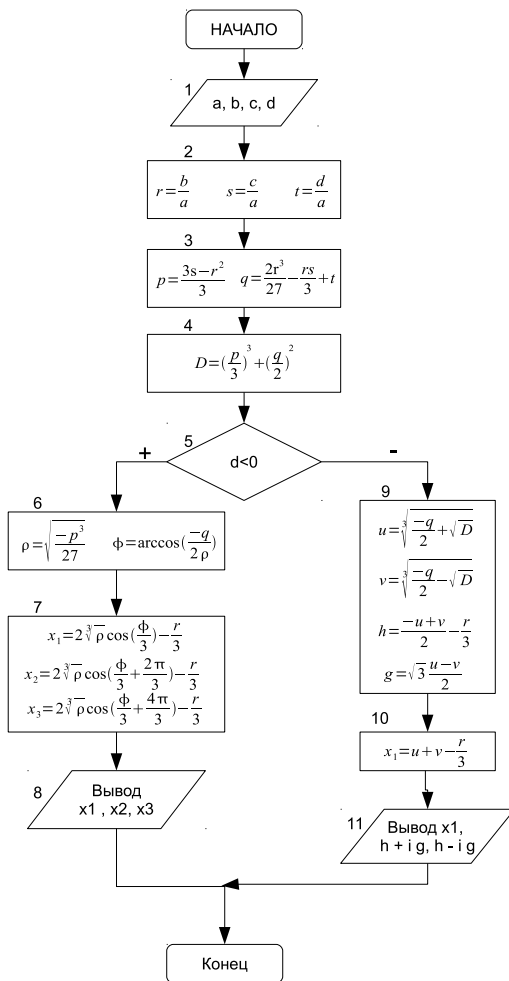


Рис. 3.17. Алгоритм решения кубического уравнения

кубического уравнения. Если он отрицателен, то корни вычисляются по формулам 3.5 (блоки 6–7). При положительном значении дискриминанта расчет идет по формулам 3.4 (блок 9, 10). Блоки 8 и 11 предназначены для вывода результатов на экран.

Текст программы с комментариями приведен ниже³.

```
#include <iostream>
#include <math.h>
using namespace std;
#define pi 3.14159 //Определение константы
int main()
{
    float a,b,c,d,D,r,s,t,p,q,ro,fi,x1,x2,x3,u,v,h,g;
    //Ввод коэффициентов кубического уравнения.
    cout<<"a="; cin>>a;
    cout<<"b="; cin>>b;
    cout<<"c="; cin>>c;
    cout<<"d="; cin>>d;
    //Расчет коэффициентов канонического уравнения по формуле 3.2
    r=b/a; s=c/a; t=d/a;
    //Вычисление коэффициентов приведенного уравнения по формуле 3.3
    p=(3*s-r*r)/3; q=2*r*r*r/27-r*s/3+t;
    //Вычисление дискриминанта кубического уравнения
    D=(p/3)*(p/3)*(p/3)+(q/2)*(q/2);
    if (D<0)
    {
        //Формулы 3.5
        ro=sqrt((float)(-p*p*p/27));
        fi=-q/(2*ro);
        fi=pi/2-atan(fi/sqrt(1-fi*fi));
        x1=2*pow(ro,(float)1/3)*cos(fi/3)-r/3;
        x2=2*pow(ro,(float)1/3)*cos(fi/3+2*pi/3)-r/3;
        x3=2*pow(ro,(float)1/3)*cos(fi/3+4*pi/3)-r/3;
        cout<<"\n x1="<<x1<<"\t x2="<<x2;
        cout<<"\t x3="<<x3<<"\n";
    }
    else
    {
        //Формулы 3.4
        if (-q/2+sqrt(D)>0) u=pow((-q/2+sqrt(D)),(float)1/3);
        else
        if (-q/2+sqrt(D)<0) u=-pow(fabs(-q/2+sqrt(D)),(float)1/3);
        else u=0;
        if (-q/2-sqrt(D)>0) v=pow((-q/2-sqrt(D)),(float)1/3);
        else
        if (-q/2-sqrt(D)<0) v=-pow(fabs(-q/2-sqrt(D)),(float)1/3);
```

³При расчете величин u и v в программе предусмотрена проверка значения подкоренного выражения.

Если $\frac{-q}{2} \mp \sqrt{D} > 0$, то $u = \sqrt[3]{\frac{-q}{2} + \sqrt{D}}$, а $v = \sqrt[3]{\frac{-q}{2} - \sqrt{D}}$.

Если $\frac{-q}{2} \mp \sqrt{D} < 0$, то $u = \sqrt[3]{|\frac{-q}{2} + \sqrt{D}|}$, а $v = \sqrt[3]{|\frac{-q}{2} - \sqrt{D}|}$.

Соответственно, при нулевом значении подкоренного выражения u и v обращаются в ноль

```

else v=0;
x1=u+v-r/3; //Вычисление действительного корня
              //кубического уравнения.
h=-(u+v)/2-r/3; //Вычисление действительной
g=(u-v)/2*sqrt((float)3); //и мнимой части комплексных корней
cout<<"\n x1="<<x1;
if (x2>=0)
{
    cout<<x1<<"+"<<x2<<"i\t";
    cout<<x1<<"-"<<x2<<"i\n";
}
else
{
    cout<<x1<<"-"<<fabs(x2)<<"i\t";
    cout<<x1<<"+"<<fabs(x2)<<"i\n";
}
}
if (g>=0)
{
    cout<<"\t x2="<<h<<"+"<<g<<"i";
    cout<<"\t x3="<<h<<"-"<<g<<"i \n";
}
else
{
    cout<<"\t x2="<<h<<"-"<<fabs(g)<<"i";
    cout<<"\t x2="<<h<<"+"<<fabs(g)<<"i";
}
}
return 0;
}

```

Задача 3.7. Заданы коэффициенты a , b и c биквадратного уравнения $ax^4 + bx^2 + c = 0$. Найти все его действительные корни.

Входные данные: a , b , c .

Выходные данные: x_1 , x_2 , x_3 , x_4 .

Для решения биквадратного уравнения необходимо заменой $y = x^2$ привести его к квадратному уравнению $ay^2 + by + c = 0$ и решить это уравнение.

Опишем алгоритм решения этой задачи (рис. 3.18):

1. Ввод коэффициентов биквадратного уравнения a , b и c (блок 1).
2. Вычисление дискриминанта уравнения d (блок 2).
3. Если $d < 0$ (блок 3), вывод сообщения, что корней нет (блок 4), а иначе определяются корни соответствующего квадратного уравнения y_1 и y_2 (блок 5).
4. Если $y_1 < 0$ и $y_2 < 0$ (блок 6), то вывод сообщения, что корней нет (блок 7).

5. Если $y_1 \geq 0$ и $y_2 \geq 0$ (блок 8), то вычисляются четыре корня по формулам $\pm\sqrt{y_1}, \pm\sqrt{y_2}$ (блок 9) и выводятся значения корней (блок 10).
6. Если условия 4) и 5) не выполняются, то необходимо проверить знак y_1 . Если $y_1 \geq 0$ (блок 11), то вычисляются два корня по формуле $\pm\sqrt{y_1}$ (блок 12), иначе (если $y_2 \geq 0$) вычисляются два корня по формуле $\pm\sqrt{y_2}$ (блок 13). Вывод вычисленных значений корней (блок 14).

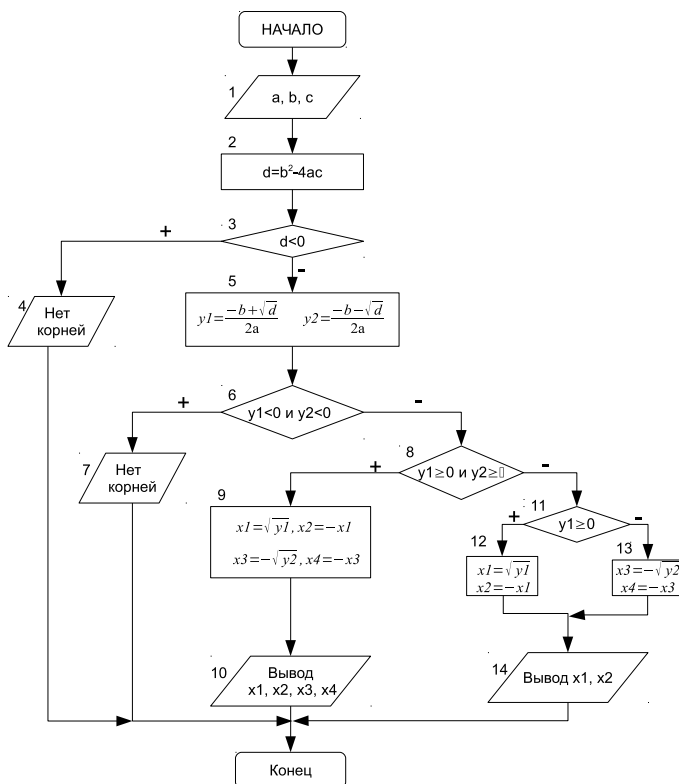


Рис. 3.18. Алгоритм решения биквадратного уравнения

Текст программы решения биквадратного уравнения приведен ниже.

Внимание! Если в условном операторе проверяется двойное условие необходимо применять логические операции `||`, `&&`, `!`. Например, условие «если y_1 и y_2 положительны» правильно записать так: `if (y1>=0 && y2>=0)`.

```
#include <iostream>
#include <math.h>
using namespace std;

int main()
{
    //Описание переменных:
    //a, b, c — коэффициенты биквадратного уравнения,
    //d — дискриминант,
    //x1, x2, x3, x4 — корни биквадратного уравнения,
    //y1, y2 — корни квадратного уравнения  $ay^2+by+c=0$ ,
    float a, b, c, d, x1, x2, x3, x4, y1, y2;
    //Ввод коэффициентов уравнения.
    cout<<"a="; cin>>a;
    cout<<"b="; cin>>b;
    cout<<"c="; cin>>c;
    d=b*b-4*a*c; //Вычисление дискриминанта.
    if (d<0) //Если дискриминант отрицательный,
        //вывод сообщения «Корней нет».
        cout<<"Нет действительных корней \n";
    else //Если дискриминант положительный,
    {
        //Вычисление корней соответствующего квадратного уравнения.
        y1=(-b+sqrt(d))/2/a;
        y2=(-b-sqrt(d))/(2*a);
        //Если оба корня квадратного уравнения отрицательные,
        if (y1<0 && y2<0)
            //вывод сообщения «Корней нет»
            cout<<" Нет действительных корней \n";
        //Если оба корня квадратного уравнения положительные,
        else if (y1>=0 && y2>=0)
        {
            //Вычисление четырех корней биквадратного уравнения
            x1=sqrt(y1);
            x2=-x1;
            x3=sqrt(y2);
            x4=-sqrt(y2);
            //Вывод корней уравнения на экран.
            cout<<"\t X1="<<x1<<"\t X2="<<x2;
            cout<<"\t X3="<<x3<<"\t X4="<<x4<<"\n";
        }
        //Если не выполнились условия
        //1.  $y_1<0$  и  $y_2<0$ 
        //2.  $y_1>=0$  и  $y_2>=0$ ,
        //то проверяем условие  $y_1>=0$ .
        else if (y1>=0) //Если оно истинно
        {
            //вычисляем два корня биквадратного уравнения.
```



```

    x1=sqrt (y1) ;
    x2=-x1 ;
    cout<<"X1="<<x1<<"\t X2="<<x2<<"\n" ;
}
else
{ //Если условие  $y1 \geq 0$  ложно, то вычисляем два корня
  //биквадратного уравнения
  x1=sqrt (y2) ;
  x2=-x1 ;
  cout<<"X1="<<x1<<"\t X2="<<x2<<"\n" ;
}
}
return 0;
}

```

Читателю предлагается самостоятельно модифицировать программу таким образом, чтобы она находила все корни (как действительные, так и комплексные) биквадратного уравнения.

3.3.2 Оператор варианта

Оператор варианта **switch** необходим в тех случаях, когда в зависимости от значений какой-либо переменной надо выполнить те или иные операторы:

```

switch (выражение)
{
case значение_1: Операторы_1; break;
case значение_2: Операторы_2; break;
case значение_3: Операторы_3; break;
...
case значение_n: Операторы_n; break;
default: Операторы; break;
}

```

Оператор работает следующим образом. Вычисляется значение выражения (оно должно быть целочисленным). Затем выполняются операторы, помеченные значением, совпадающим со значением выражения. То есть, если выражение принимает **значение_1**, то выполняются операторы_1. Если выражение принимает **значение_2**, то выполняются операторы_2 и так далее. Если выражение не принимает ни одно из значений, то выполняются операторы расположенные после ключевого слова **default**.

Альтернативная ветвь **default** может отсутствовать, тогда оператор имеет вид:

```

switch (выражение)

```

```
{
case значение_1: Операторы_1; break;
case значение_2: Операторы_2; break;
case значение_3: Операторы_3; break;
...
case значение_n: Операторы_n; break;
}
```

Оператор **break** необходим для того, чтобы осуществить выход из оператора **switch**. Если оператор **break** не указан, то будут выполняться следующие операторы из списка, не смотря на то, что значение, которым они помечены, не совпадает со значением выражения.

Рассмотрим применение оператора варианта.

Задача 3.8. Вывести на печать название дня недели, соответствующее заданному числу D , при условии, что в месяце 31 день и 1-е число — понедельник.

Для решения задачи воспользуемся операцией $\%$, позволяющей вычислить остаток от деления двух чисел, и условием, что 1-е число — понедельник. Если в результате остаток от деления (обозначим его R) заданного числа D на семь будет равен единице, то это понедельник, двойке — вторник, тройке — среда и так далее. Следовательно, при построении алгоритма необходимо использовать семь условных операторов, как показано рис. 3.19. Решение задачи станет значительно проще, если при написании программы воспользоваться оператором варианта **switch**:

```
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{unsigned int D,R; //Описаны целые положительные числа.
  cout<<"D="; cin>>D; //Ввод числа от 1 до 31.
  R=D%7;
  switch (R)
  {
    case 1: cout<<"Понедельник \n"; break;
    case 2: cout<<"Вторник \n"; break;
    case 3: cout<<"Среда \n"; break;
    case 4: cout<<"Четверг \n"; break;
    case 5: cout<<"Пятница \n"; break;
    case 6: cout<<"Суббота \n"; break;
    case 0: cout<<"Воскресенье \n"; break;
  }
  return 0;
}
```

В предложенной записи оператора варианта отсутствует ветвь **default**. Это объясняется тем, что переменная R может принимать

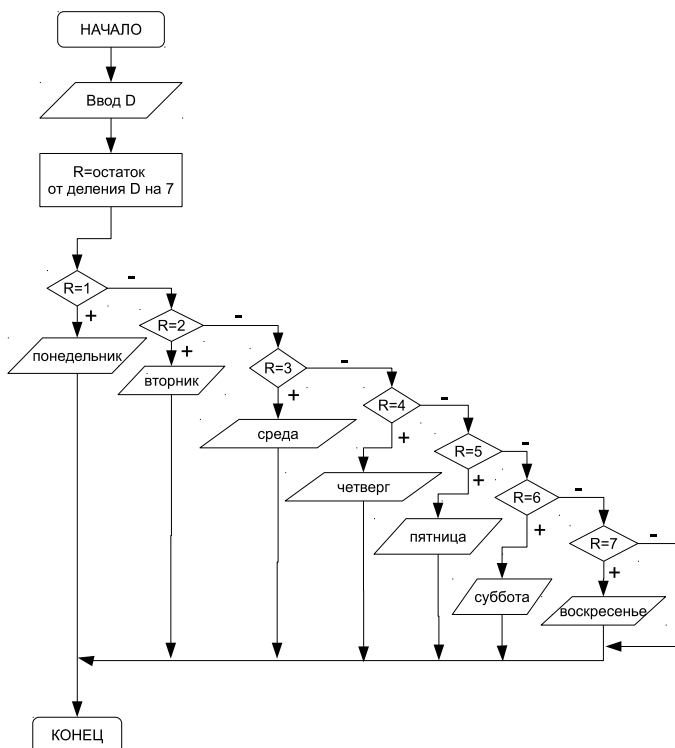


Рис. 3.19. Алгоритм решения задачи 3.8

только одно из указанных значений, т.е. 1, 2, 3, 4, 5, 6 или 0. Однако программа будет работать неправильно, если пользователь введет значение D превышающее 31. Чтобы избежать подобной ошибки лучше сделать дополнительную проверку входных данных:

```

#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    unsigned int D,R;
    cout<<"\n D="; cin>>D;
    if (D<32) //Проверка введенного значения.
    {
        R=D%7;
    }
}

```

```

switch (R)
{
    case 1: cout<<"Понедельник \n"; break;
    case 2: cout<<"Вторник \n"; break;
    case 3: cout<<"Среда \n"; break;
    case 4: cout<<"Четверг \n"; break;
    case 5: cout<<"Пятница \n"; break;
    case 6: cout<<"Суббота \n"; break;
    case 0: cout<<"Воскресенье \n"; break;
}
}
//Сообщение об ошибке в случае некорректного ввода.
else cout<<"ОШИБКА! \n";
return 0;
}

```

Задача 3.9. По заданному номеру месяца m вывести на экран его название.

Для решения данной задачи необходимо проверить выполнение четырех условий. Если заданное число m равно 12, 1 или 2, то это зима, если m попадает в диапазон от 3 до 5, то — весна, лето определяется принадлежностью числа m диапазону от 6 до 8 и, соответственно, при равенстве переменной m 9, 10 или 11 — это осень. Понятно, что область возможных значений переменной m находится в диапазоне от 1 до 12 и если пользователь введет число не входящее в этот интервал, то появится сообщение об ошибке.

```

#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    unsigned int m; //Описано целое положительное число.
    cout<<"m="; cin>>m;
    switch (m)
    {
//В зависимости от значения m выводится название месяца.
        case 1: cout<<"Январь \n"; break;
        case 2: cout<<"Февраль \n"; break;
        case 3: cout<<"Март \n"; break;
        case 4: cout<<"Апрель \n"; break;
        case 5: cout<<"Май \n"; break;
        case 6: cout<<"Июнь \n"; break;
        case 7: cout<<"Июль \n"; break;
        case 8: cout<<"Август \n"; break;
        case 9: cout<<"Сентябрь \n"; break;
        case 10: cout<<"Октябрь \n"; break;
        case 11: cout<<"Ноябрь \n"; break;
        case 12: cout<<"Декабрь \n"; break;
    }
}

```

```
//Если значение переменной m выходит за пределы области  
//допустимых значений, то выдается сообщение.  
    default: cout<<"ОШИБКА! \n"; break;  
}  
return 0;  
}
```

3.4 Операторы цикла

Циклический процесс или просто *цикл* это повторение одних и тех же действий. Последовательность действий, которые повторяются в цикле, называют *телом цикла*. Один проход цикла называют *шагом* или *итерацией*. Переменные, которые изменяются внутри цикла, и влияют на его окончание, называются *параметрами цикла*.

При написании циклических алгоритмов следует помнить следующее. Во-первых, чтобы цикл имел шанс когда-нибудь закончиться, содержимое его тела должно обязательно влиять на условие цикла. Во-вторых, условие должно состоять из корректных выражений и значений, определенных еще до первого выполнения тела цикла.

В С++ для удобства пользователя предусмотрены три оператора, реализующих циклический процесс: `while`, `do...while` и `for`.

3.4.1 Оператор цикла с предусловием

На рис. 3.20 изображена блок-схема алгоритма *цикла с предусловием*. Оператор, реализующий этот алгоритм в С++ имеет вид:

while (условие) оператор;

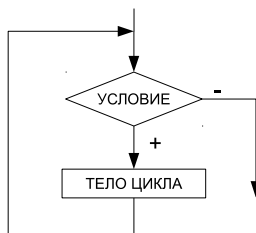


Рис. 3.20. Алгоритм циклической структуры с предусловием

Работает цикл с предусловием следующим образом. Вычисляется **условие**. Если оно истинно (не равно нулю), выполняется **оператор**. В противном случае цикл заканчивается, и управление передается оператору, следующему за телом цикла. Условие вычисляется перед каждой итерацией цикла. Если при первой проверке выражение равно нулю, цикл не выполнится ни разу. Тип выражения должен быть арифметическим или приводимым к нему.

Если тело цикла состоит более чем из одного оператора, необходимо использовать составной оператор:

```
while (условие)
{
    оператор 1;
    оператор 2;
    ...
    оператор n;
}
```

Рассмотрим пример. Пусть необходимо вывести на экран таблицу значений функции $y = e^{\sin(x)} \cos(x)$ на отрезке $[0; \pi]$ с шагом 0.1. Применив *цикл с предусловием* получим:

```
#include <stdio.h>
#include <math.h>
#define PI 3.14159
using namespace std;
int main()
{
    float x, y; //Описание переменных
    x=0;        //Присваивание параметру цикла стартового значения
    //Цикл с предусловием
    while (x<=PI) //Пока параметр цикла не превышает конечное значение
    { //выполнять тело цикла
        y=exp(sin(x))*cos(x); //Вычислить значение y
        //Вывод на экран пары x и y.
        printf("\t x=%5.2f \t y=%5.4f \n",x,y);
        x+=0.1; //Изменение параметра цикла
        //(переход к следующему значению x)
    } //Конец цикла
    return 0;
}
```

В результате работы данного фрагмента программы на экран последовательно будут выводиться сообщения со значениями переменных x и y :

```
x= 1.00    y=1.2534
x= 1.10    y=1.1059
```

x= 1.20	y=0.9203
x= 1.30	y=0.7011
x= 1.40	y=0.4553
x= 1.50	y=0.1918
x= 1.60	y=-0.0793
x= 1.70	y=-0.3473
x= 1.80	y=-0.6017
x= 1.90	y=-0.8328
x= 2.00	y=-1.0331
x= 2.10	y=-1.1969
x= 2.20	y=-1.3209
x= 2.30	y=-1.4045
x= 2.40	y=-1.4489
x= 2.50	y=-1.4576
x= 2.60	y=-1.4348
x= 2.70	y=-1.3862
x= 2.80	y=-1.3172
x= 2.90	y=-1.2334
x= 3.00	y=-1.1400
x= 3.10	y=-1.0416

3.4.2 Оператор цикла с постусловием

В цикле с предусловием предварительной проверкой определяется, выполнять тело цикла или нет, до первой итерации. Если это не соответствует логике алгоритма, то можно использовать *цикл с постусловием*. На рис. 3.21. видно, что в этом цикле проверяется, делать или нет очередную итерацию, лишь после завершения предыдущей. Это имеет принципиальное значение лишь на первом шаге, а далее циклы ведут себя идентично.

В C++ *цикл с постусловием* реализован конструкцией

do оператор **while** (условие);

здесь **условие** — логическое или целочисленное выражение, или, если тело цикла состоит более чем из одного оператора:

```
do
{
    оператор_1;
    оператор_2;
    ...
    оператор_n;
}
while (условие);
```

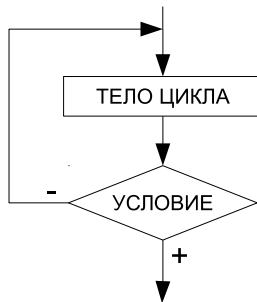


Рис. 3.21. Алгоритм циклической структуры с постусловием

Работает цикл следующим образом. В начале выполняется оператор, представляющий собой тело цикла. Затем вычисляется условие. Если оно истинно (не равно нулю), оператор тела цикла выполняется ещё раз. В противном случае цикл завершается, и управление передаётся оператору, следующему за циклом.

Таким образом, не трудно заметить, что цикл с постусловием всегда будет выполнен хотя бы один раз, в отличие от цикла с предусловием, который может не выполниться ни разу.

Если применить цикл с постусловием для создания программы, которая выводит таблицу значений функции $y = e^{\sin(x)} \cos(x)$ на отрезке $[0; \pi]$ с шагом 0.1, получим:

```

#include <iostream>
#include <stdio.h>
#include <math.h>
#define PI 3.14159
using namespace std;
int main()
{
    float x, y; //Описание переменных
    x=0; //Присваивание параметру цикла стартового значения
    do //Цикл с постусловием
    { //Выполнять тело цикла
        y=exp(sin(x))*cos(x);
        printf(" \t x=%5.2f \t y=%5.4f \n",x,y);
        x+=0.1; //Изменение параметра цикла
    }
    while(x<=PI); //пока параметр цикла не превышает конечное значение
    return 0;
}

```


Результаты работы этой программы будут такими же как на стр. 78.

3.4.3 Оператор цикла `for` с параметром

Кроме того, в C++ предусмотрен *цикл `for` с параметром*:

```
for (начальные_присваивания;условие;последствие)  
оператор;
```

где **начальные_присваивания** — оператор или группа операторов, разделённых запятой⁴, применяются для присвоения начальных значений величинам, используемым в цикле, в том числе параметру цикла, и выполняются один раз в начале цикла; **условие** — определяет условие входа в цикл, если условие истинно (не равно нулю), то цикл выполняется; **последствие** — оператор или группа операторов, разделённых запятой, которые выполняются после каждой итерации и служат для изменения параметра цикла; **оператор** — любой оператор языка, представляющий собой тело цикла. **Последствие** или **оператор** должны влиять на условие, иначе цикл никогда не закончится. **Начальные_присваивания**, **выражение** или **приращение** в записи оператора `for` могут отсутствовать, но при этом «точки с запятой» должны оставаться на своих местах.

Опишем алгоритм работы цикла `for`:

1. Выполняются **начальные_присваивания**.
2. Вычисляется **условие**, если оно не равно 0 (**true**), то выполняется переход к п.3. В противном случае выполнение цикла завершается.
3. Выполняется **оператор**.
4. Выполняется оператор **последствие** и осуществляется переход к п.2, опять вычисляется значение **выражения** и т.д.

Понятно, что этот алгоритм представляет собой цикл с предусловием (рис. 3.22).

В дальнейшем, чтобы избежать создания слишком громоздких алгоритмов, в блок-схемах цикл `for` будем изображать, так как показано на рис. 3.23.

В случае если тело цикла состоит более чем из одного оператора, необходимо использовать составной оператор:

⁴Запятая в C++ это операция последовательного выполнения операторов



Рис. 3.22. Алгоритм работу цикла с параметром

```

for (начальные_присваивания; условие; приращение)
{
    оператор_1;
    ...
    оператор_n;
}
  
```

Применение цикла `for` рассмотрим на примере печати таблицы значений функции $y = e^{\sin(x)} \cos(x)$ на отрезке $[0; \pi]$ с шагом 0.1:

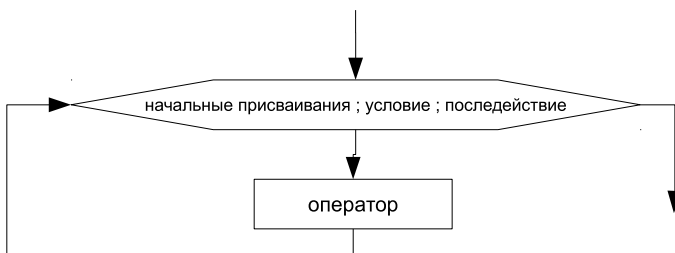


Рис. 3.23. Блок-схема цикла с параметром

```

#include <stdio.h>
#include <math.h>
#define PI 3.14159
using namespace std;
int main()
{
  
```

```
float x, y;  
//Параметру цикла присваивается начальное значение,  
//если оно не превышает конечное значение,  
//то выполняются операторы тела цикла  
//и значение параметра изменяется,  
//в противном случае цикл заканчивается.  
for (x=0;x<=PI;x+=0.1)  
{  
    y=exp(sin(x))*cos(x);  
    printf("\t x=%5.2f \t y=%5.4f \n",x,y);  
}  
return 0;  
}
```

Программный код выдаст результат представленный на стр. 78.

3.4.4 Операторы передачи управления

Операторы передачи управления принудительно изменяют порядок выполнения команд. В C++ таких операторов четыре: `goto`, `break`, `continue` и `return`.

Оператор `goto` *метка*, где *метка* обычный идентификатор, применяются для безусловного перехода, он передает управление оператору с меткой: *метка: оператор*;⁵.

Оператор `break` осуществляет немедленный выход из циклов `while`, `do...while` и `for`, а так же из оператора выбора `switch`. Управление передается оператору, находящемуся непосредственно за циклом или оператором выбора.

Оператор `continue` начинает новую итерацию цикла, даже если предыдущая не была завершена.

Оператор `return` *выражение* завершает выполнение функции и передает управление в точку ее вызова. Если функция возвращает значение типа `void`, то выражение в записи оператора отсутствует. В противном случае выражение должно иметь скалярный тип.

⁵Обычно применение оператора `goto` приводит к усложнению программы и затрудняет отладку. Он нарушает принцип структурного программирования, согласно которому все блоки, составляющие программу, должны иметь только один вход и один выход. В большинстве алгоритмов применения этого оператора можно избежать

3.5 Решение задач с использованием циклов

Рассмотрим использование циклических операторов на конкретных примерах.

Задача 3.10. Написать программу решения квадратного уравнения $ax^2 + bx + c = 0$. Предусмотреть проверку ввода данных.

Решение квадратного уравнения было подробно рассмотрено в задаче 3.4. Однако алгоритм изображенный на рис. 3.15 не будет работать, если пользователь введет нулевое значение в переменную a (при попытке вычислить корни уравнения произойдет деление на ноль). Чтобы избежать подобной ошибки нужно в программе предусмотреть проверку входных данных, например, так как показано на рис. 3.24. Вводится значение переменной a , если оно равно нулю, то ввод повторяется, иначе следует алгоритм вычисления корней квадратного уравнения. Здесь применяется *цикл с постусловием*, так как значение переменной необходимо ввести, а затем проверить его на равенство нулю.

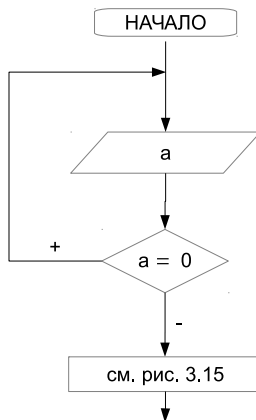


Рис. 3.24. Блок-схема проверки ввода данных

Программа решения задачи:

```

#include <iostream>
#include <math.h>
using namespace std;
int main()
{

```

```

float a, b, c, d, x1, x2;
//Проверка ввода значения коэффициента a.
do //Выполнять тело цикла пока a равно нулю
{
    cout<<"a="; cin>>a;
}
while (a==0);
cout<<"b="; cin>>b;
cout<<"c="; cin>>c;
d=b*b-4*a*c;
if (d<0) cout<<"Нет вещественных корней";
else
{
    x1=(-b+sqrt(d))/2/a;
    x2=(-b-sqrt(d))/(2*a);
    cout<<"X1="<<x1<<"\t X2="<<x2<<"\n";
}
return 0;
}

```

Задача 3.11. Найти наибольший общий делитель (НОД) натуральных чисел A и B .

Входные данные: A и B .

Выходные данные: A — НОД.

Для решения поставленной задачи воспользуемся алгоритмом Евклида: будем уменьшать каждый раз большее из чисел на величину меньшего до тех пор, пока оба значения не станут равными, так, как показано в таблице 3.2.

Таблица 3.2: Поиск НОД для чисел $A = 25$ и $B = 15$.

Шаг	A	B
Исходные данные	25	15
Шаг 1	10	15
Шаг 2	10	5
Шаг 3, НОД	5	5

В блок-схеме, представленной на рис. 3.25, для решения поставленной задачи используется *цикл с предусловием*, то есть тело цикла повторяется до тех пор, пока A не равно B . Следовательно, при создании программы воспользуемся циклом **while**:

```

#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{

```

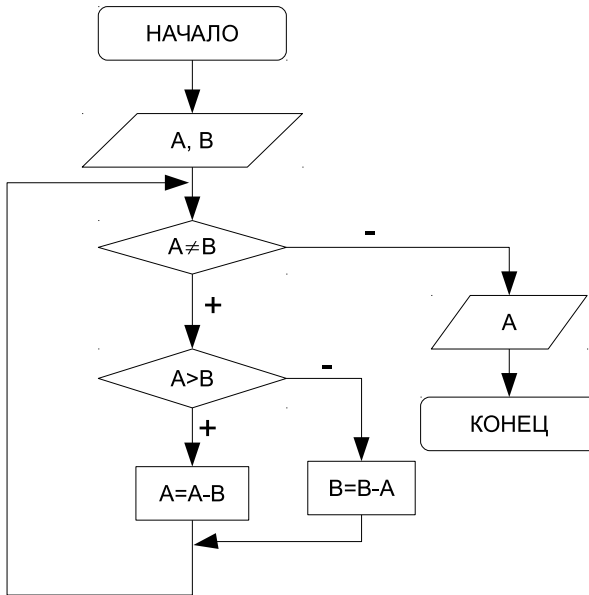


Рис. 3.25. Поиск наибольшего общего делителя двух чисел.

```

unsigned int a,b;
cout<<"A="; cin>>a;
cout<<"B="; cin>>b;
//Если числа не равны, выполнять тело цикла
while (a!=b)
//Если число A больше, чем B, то уменьшить его значение на B,
if (a>b) a=a-b;
//иначе уменьшить значение числа B на A
else b=b-a;
cout<<"НОД="<<a<<"\n";
return 0;
}

```

Результат работы программы не изменится, если для ее решения воспользоваться циклом с постусловием **do...while**:

```

#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    unsigned int a,b;

```

```

cout<<"A="; cin>>a;
cout<<"B="; cin>>b;
do
    if (a>b) a=a-b; else b=b-a;
while (a!=b);
cout<<"НОД="<<a<<"\n";
return 0;
}

```

Задача 3.12. Вычислить факториал числа N ($N! = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \dots \cdot N$).

Входные данные: N — целое число, факториал которого необходимо вычислить.

Выходные данные: **factorial** — значение факториала числа N , произведение чисел от 1 до N , целое число.

Промежуточные переменные: i — параметр цикла, целочисленная переменная, последовательно принимающая значения 2, 3, 4 и так далее до N .

Блок-схема приведена на рис. 3.26.

Итак, вводится число N . Переменной **factorial**, предназначенной для хранения значения произведения последовательности чисел, присваивается начальное значение, равное единице. Затем организуется цикл, параметром которого выступает переменная i . Если значение параметра цикла не превышает N , то выполняется оператор тела цикла, в котором из участка памяти с именем **factorial** считывается предыдущее значение произведения, умножается на текущее значение параметра цикла, а результат снова помещается в участок памяти с именем **factorial**. Когда параметр i превысит N , цикл заканчивается, и на экран выводится значение переменной **factorial**, которая была вычислена в теле цикла.

Обратите внимание, как в программе записан *оператор цикла*. Здесь операторы ввода и операторы присваивания стартовых значений записаны как *начальные присваивания* цикла **for**, а оператор накопления произведения и оператор модификации параметра цикла представляют собой *приращение*:

```

#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    unsigned long long int factorial;
    unsigned int N, i;
    for (cout<<"N=",cin>>N, factorial=1,i=2;i<=N; factorial*=i,i++);
    cout<<"факториал="<<factorial<<"\n";
    return 0;
}

```

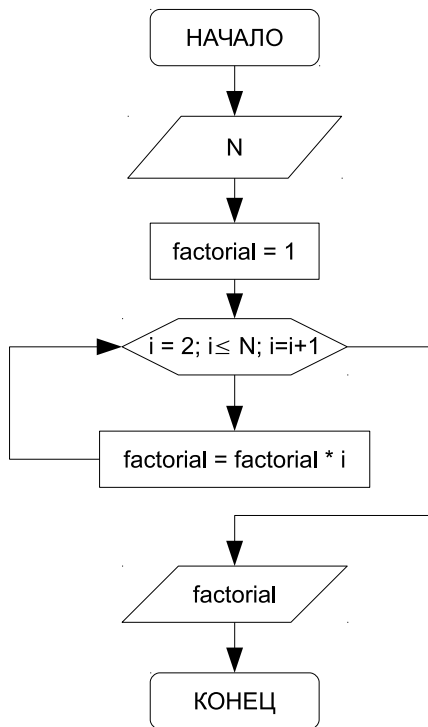


Рис. 3.26. Алгоритм вычисления факториала.

}

Задача 3.13. Вычислить сумму натуральных чётных чисел, не превышающих N .

Входные данные: N — целое число.

Выходные данные: S — сумма четных чисел.

Промежуточные переменные: i — параметр цикла, принимает значения 2, 4, 6, 8 и так далее, также имеет целочисленное значение.

При сложении нескольких чисел необходимо накапливать результат в определённом участке памяти (S), каждый раз считывая из этого участка (S) предыдущее значение суммы (S) и прибавляя к нему слагаемое i . Для выполнения первого оператора накопления суммы из участка памяти необходимо взять такое число, которое не влияло

бы на результат сложения. Перед началом цикла переменной, предназначенной для накапливания суммы, необходимо присвоить значение нуль. Блок-схема решения этой задачи представлена на рис. 3.27.

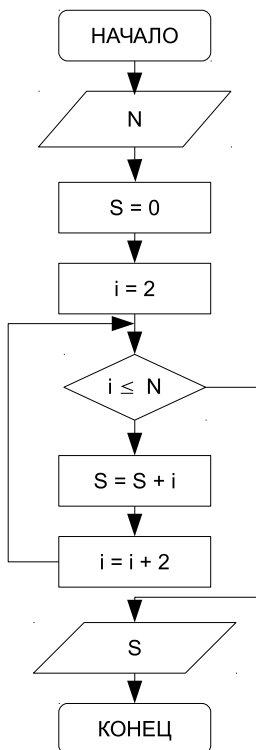


Рис. 3.27. Алгоритм вычисления суммы четных, натуральных чисел.

Решим задачу двумя способами: с применением циклов **while** и **for**:

```
//Решение задачи с помощью цикла while  
#include <iostream>  
using namespace std;  
int main()  
{  
    unsigned int N,i,S;  
    cout<<"N="; cin>>N;  
    S=0;
```

```

i=2;
while (i<=N)
{
    S=S+i;
    i=i+2;
}
cout<<"S="<<S<<"\n";
return 0;
}
//_____
//Решение задачи с помощью цикла for
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    unsigned int N,i,S;
    for (cout<<"N=" , cin>>N,S=0,i=2;i<=N;S+=i , i+=2);
        cout<<"S="<<S<<"\n";
    return 0;
}

```

Задача 3.14. Дано натуральное число N . Определить K — количество делителей этого числа, меньших самого числа (Например, для $N=12$ делители 1, 2, 3, 4, 6. Количество $K=5$).

Входные данные: N — целое число.

Выходные данные: целое число K — количество делителей N .

Промежуточные переменные: i — параметр цикла, возможные делители числа N .

В блок-схеме, изображенной на рис. 3.28, реализован следующий алгоритм: в переменную K , предназначенную для подсчета количества делителей заданного числа, помещается значение, которое не влияло бы на результат, т.е. нуль. Далее организовывается цикл, в котором изменяющийся параметр i выполняет роль возможных делителей числа N . Если заданное число N делится нацело на параметр цикла i , это означает, что i является делителем N , и значение переменной K следует увеличить на единицу. Цикл необходимо повторить $\frac{N}{2}$ раз.

Текст программы на C++:

```

#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    unsigned int N,i,K;
    cout<<"N=" ; cin>>N;
    for (K=0,i=1;i<=N/2;i++) if (N%i==0) K++;
}

```

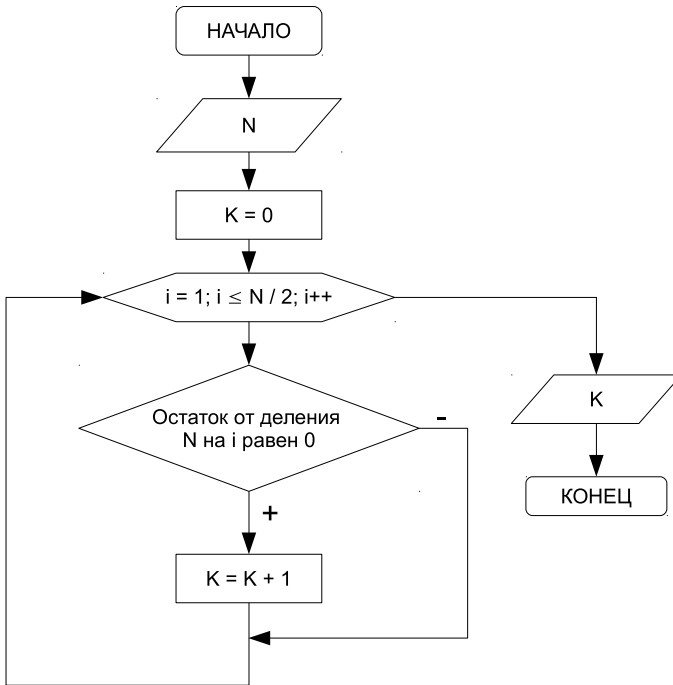


Рис. 3.28. Алгоритм определение делителей натурального числа.

```

cout << "K=" << K << "\n";
return 0;
}

```

Задача 3.15. Дано натуральное число N . Определить, является ли оно простым. Натуральное число N называется простым, если оно делится без остатка только на единицу и на само себя. Число 13 — простое, так как делится только на 1 и 13, а число 12 таковым не является, так как делится на 1, 2, 3, 4, 6 и 12.

Входные данные: N — целое число.

Выходные данные: сообщение.

Промежуточные переменные: i — параметр цикла, возможные делители числа N .

Необходимо проверить есть ли делители числа N в диапазоне от 2 до $N/2$ (рис. 3.29). Если делителей — нет, N — простое число, ина-

че оно таковым не является. Обратите внимание на то, что в алгоритме предусмотрено два выхода из цикла. Первый — естественный, при исчерпании всех значений параметра, а второй — досрочный. Нет смысла продолжать цикл, если будет найден хотя бы один делитель из указанной области изменения параметра.

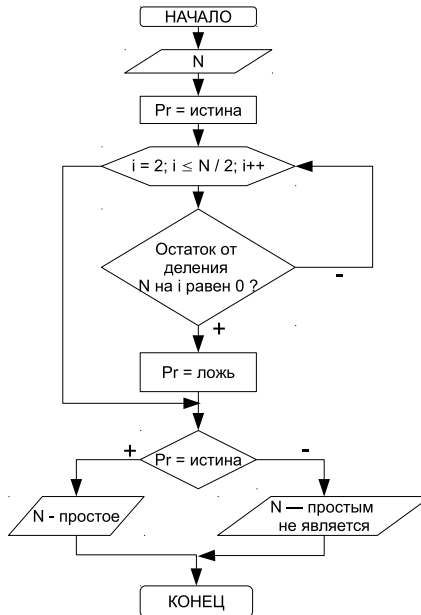


Рис. 3.29. Алгоритм определения простого числа.

При составлении программы на языке C++ досрочный выход из цикла удобно выполнять при помощи оператора **break**:

```

#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    unsigned int N, i;
    bool Pr;
    cout << "N="; cin >> N;
    Pr = true; //Предположим, что число простое
    for (i = 2; i <= N / 2; i++)
        if (N % i == 0) //Если найдется хотя бы один делитель, то
        {
            break;
        }
}
  
```

```

    Pr=false; //число простым не является и
    break; //досрочный выход из цикла
}
if (Pr) //Проверка значения логического параметра и
//вывод на печать соответствующего сообщения
    cout<<N<<" - простое число \n";
else
    cout<<N<<" - не является простым \n";
return 0;
}

```

Задача 3.16. Дано натуральное число N . Определить количество цифр в числе.

Входные данные: N — целое число.

Выходные данные: kol — количество цифр в числе.

Промежуточные данные: M — переменная для временного хранения значения N^6 .

Для того, чтобы подсчитать количество цифр в числе, необходимо определить, сколько раз заданное число можно разделить на десять нацело. Например, пусть $N = 12345$, тогда количество цифр $kol = 5$. Результаты вычислений сведены в таблицу 3.3.

Таблица 3.3: Определение количества цифр числа

kol	N
1	12345
2	12345 / 10 = 1234
3	1234 / 10 = 123
4	123 / 10 = 12
5	12 / 10 = 1
	1 / 10 = 0

Алгоритм определения количества цифр в числе представлен на рис. 3.30.

```

#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    unsigned long int N, M;

```

⁶При решении задачи (см. алгоритм на рис. 3.30) исходное число изменятся, поэтому, чтобы его, не потерять, копируем исходное число N в переменную M , и делить будем уже M .

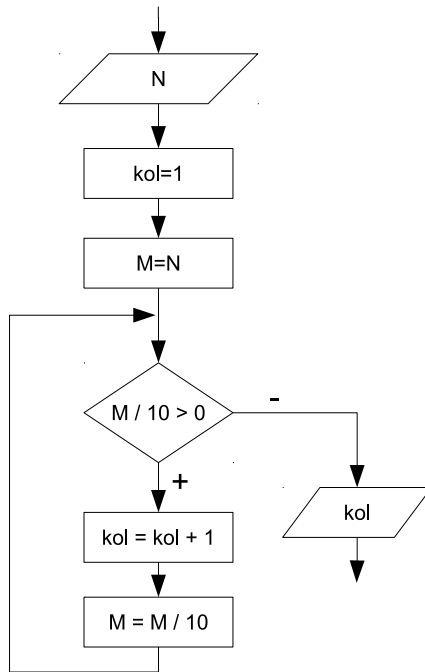


Рис. 3.30. Алгоритм определения количества цифр в числе.

```

unsigned int kol;
cout<<"N="; cin>>N;
for (M=N, kol=1; M/10>0; kol++,M/=10);
cout<<"kol="<<kol<<endl;
return 0;
}

```

Задача 3.17. Дано натуральное число N . Определить содержит ли это число нули и в каких разрядах они расположены (например, число 1101111011 содержит ноль в третьем и восьмом разрядах, а число 120405 — во втором и четвертом).

Входные данные: N — целое число.

Выходные данные: pos — позиция цифры в числе.

Промежуточные данные: i — параметр цикла, M — переменная для временного хранения значения N .

В связи с тем, что разряды в числе выделяются начиная с последнего, то для определения номера разряда в числе, необходимо знать количество цифр в числе⁷. Таким образом, на первом этапе решения задачи необходимо определить kol — количество цифр в числе. Затем нужно выделять из числа цифры, если очередная цифра равна нулю, вывести на экран номер разряда, который занимает эта цифра. Процесс определения текущей цифры числа $N = 120405$ представлен в таблице 3.4.

Таблица 3.4: Определение текущей цифры числа

i	Число M	Цифра	Номер позиции
1	120405	$120405 \% 10 = 5$	6
2	$12040/10 = 1204$	$12040 \% 10 = 0$	5
3	$1204/10 = 120$	$1204 \% 10 = 4$	4
4	$120/10 = 12$	$120 \% 10 = 0$	3
5	$12/10 = 1$	$12 \% 10 = 2$	2
6	$1/10 = 0$	$1 \% 10 = 1$	1

Программный код к задаче 3.17.

```
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    unsigned long int N,M; int kol, i;
    cout<<"N="; cin>>N;
    for ( kol=1,M=N;M/10>0; kol++,M/=10);
        for (M=N,i=kol;i>0;M/=10,i--)
            if (M%10==0) cout<<"Позиция = "<<i<<endl;
    return 0;
}
```

Задача 3.18. Дано натуральное число N . Получить новое число, записав цифры числа N в обратном порядке. Например, 12345 — 54321.

Входные данные: N — целое число.

Выходные данные: S — целое число, полученное из цифр числа N , записанных в обратном порядке.

Промежуточные данные: i — параметр цикла, M — переменная для временного хранения значения N , kol — количество разрядов в заданном числе, $R = 10^{kol}$ — старший разряд заданного числа.

⁷Алгоритм нахождения количества цифр в числе был рассмотрен в предыдущей задаче.

Рассмотрим пример. Пусть $N = 12345$, тогда $S = 5 \cdot 10^4 + 4 \cdot 10^3 + 3 \cdot 10^2 + 2 \cdot 10^1 + 1 \cdot 10^0 = 54321$

Значит, для решения поставленной задачи, нужно знать количество разрядов в заданном числе kol и его старший разряд $R = 10^{kol}$. Новое число S формируют как сумму произведений последней цифры заданного числа на старший разряд $S += M \% 10 * R$. Цикл выполнят kol раз, при каждой итерации уменьшая само число и старший разряд в десять раз.

```
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{ unsigned long int N,M,R,S; int kol, i;
  cout<<"N="; cin>>N;
  for (R=1,kol=1,M=N;M/10>0; kol++,R*=10,M/=10);
    for (S=0,M=N, i=1; i<=kol; S+=M%10*R,M/=10,R/=10,i++);
    cout<<"S="<<S<<endl;
  return 0;
}
```

Задача 3.19. Проверить является ли заданное число N палиндромом⁸. Например, числа 404, 1221 — палиндромы.

Входные данные: N — целое число.

Выходные данные: сообщение.

Промежуточные данные: i — параметр цикла, M — переменная для временного хранения значения N , kol — количество разрядов в заданном числе, $R = 10^{kol}$ — старший разряд заданного числа, S — целое число, полученное из цифр числа N , записанных в обратном порядке.

Можно предложить следующий алгоритм решения задачи. Записать цифры заданного числа N в обратном порядке (задача 3.18), получится новое число S . Сравнить полученное число S с исходным N . Если числа равны, то заданное число является палиндромом.

Текст программы на языке C++:

```
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{ unsigned long int N,M,R,S;
  int kol, i;
  cout<<"N="; cin>>N;
```

⁸ Палиндром — это число, слово или фраза одинаково читающееся в обоих направлениях, или, другими словами, любой симметричный относительно своей середины набор символов.


```

for (R=1, kol=1, M=N; M/10>0; kol++, R*=10, M/=10);
    for (S=0, M=N, i=1; i<=kol; S+=M%10*R, M/=10, R/=10, i++);
        if (N==S) cout<<"Число - палинром"<<endl;
        else cout<<"Число не является палиндромом"<<endl;
return 0;
}

```

Задача 3.20. Поступает последовательность из N вещественных чисел. Определить наибольший элемент последовательности.

Входные данные: N — целое число; X — вещественное число, определяет текущий элемент последовательности.

Выходные данные: Max — вещественное число, элемент последовательности с наибольшим значением.

Промежуточные переменные: i — параметр цикла, номер вводимого элемента последовательности.

Алгоритм поиска наибольшего элемента в последовательности следующий (рис. 3.31). Вводится N — количество элементов последовательности и X — первый элемент последовательности. В памяти компьютера отводится ячейка, например с именем Max , в которой будет храниться наибольший элемент последовательности — максимум. Далее предполагаем, что первый элемент последовательности наибольший и записываем его в Max . Затем вводится второй элемент последовательности и сравниваем его с предполагаемым максимумом. Если окажется, что второй элемент больше, его записывают в ячейку Max . В противном случае никаких действий не предпринимаем. Потом переходим к вводу следующего элемента последовательности (X), и алгоритм повторяется с начала. В результате в ячейке Max сохранится элемент последовательности с наибольшим значением⁹.

Текст программы на C++:

```

#include <iostream>
using namespace std;
int main ()
{
    unsigned int i, N;
    float X, Max;
    cout<<"N="; cin>>N;
    cout<<"X="; cin>>X; //Ввод первого элемента последовательности
    //Параметр цикла принимает стартовое значение  $i=2$ , т.к. первый элемент
    //уже введен предположим, что он максимальный, т.е.  $Max=X$ .

```

⁹ Для поиска наименьшего элемента последовательности (минимума), предполагают, что первый элемент — наименьший, записывают его в ячейку min , а затем среди элементов последовательности ищут число, значение которого будет меньше чем предполагаемый минимум.

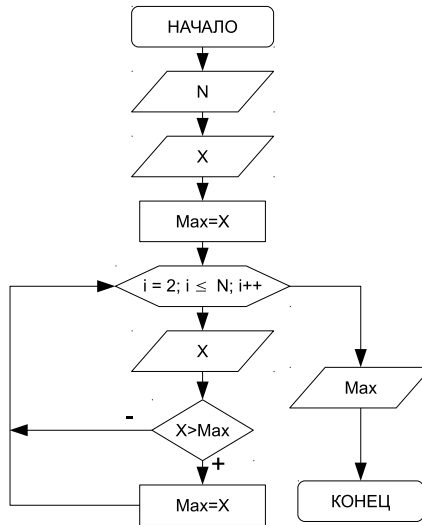


Рис. 3.31. Алгоритм поиска наибольшего числа в последовательности.

```

for (i=2, Max=X; i<=N; i++)
{
    cout<<"X="; cin>>X; //Ввод следующих элементов
                        //последовательности.
    //Если найдется элемент превышающий максимум,
    //записать его в ячейку Max, теперь он предполагаемый максимум.
    if (X>Max) Max=X;
}
//Вывод наибольшего элемента последовательности.
cout<<"Max="<<Max<<"\n";
return 0;
}
  
```

Задача 3.21. Вводится последовательность целых чисел, 0 — конец последовательности. Найти наименьшее число среди положительных, если таких значений несколько¹⁰, определить, сколько их.

Блок-схема решения задачи приведена на рис. 3.32.

¹⁰Предположим вводится последовательность чисел 11, -3, 5, 12, -7, 5, 8, -9, 7, -6, 10, 5, 0. Наименьшим положительным числом является 5. Таких минимумов в последовательности 3.

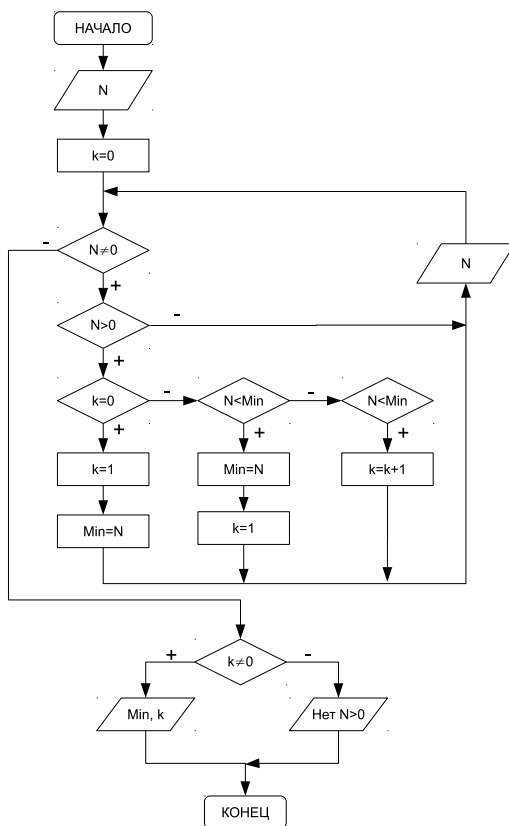


Рис. 3.32. Алгоритм поиска минимального положительного числа в последовательности.

Далее приведен текст подпрограммы с подробными комментариями¹¹.

```

#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    float N, Min; int K;

```

¹¹ Алгоритм поиска максимального (минимального) элементов последовательности подробно описан в задаче 3.20

```

//Предположим, что в последовательности нет положительных чисел,  $K=0$ .
//Вводим число и если оно не равно нулю
for ( cout<<"N=" , cin>>N,K=0;N!=0;cout<<"N=" , cin>>N)
    //проверяем является ли оно положительным.
    if (N>0)
        //если  $K=0$ , поступил 1-й элемент, предположим, что он минимальный.
        if (K==0) {K=1;Min=N;}
        //если элемент не первый сравниваем его с предполагаемым
        минимумом,
        //если элемент меньше записываем его в Min и сбрасываем счетчик
        else if (N<Min) {Min=N;K=1;}
        //если элемент равен минимуму увеличиваем значение счетчика.
        else if (N==Min) K++; //Конец цикла
//Если значение счетчика не равно нулю, печатаем значение
//минимального элемента и количество таких элементов.
if (K!=0) cout<<"Min="<<Min<<"\n"<<"K="<<K<<"\n";
//в противном случае выдаем сообщаем.
else cout<<"Positive elements are absent \n";
return 0;
}

```

Задача 3.22. Определить сколько раз последовательность из N произвольных чисел меняет знак.

Чтобы решить задачу нужно попарно перемножать элементы последовательности. Если результат произведения пары чисел — отрицательное число, значит, эти числа имеют разные знаки.

Пусть в переменной B хранится текущий элемент последовательности, в A — предыдущий. Введём первое число A (до цикла) и второе B (в цикле). Если их произведение отрицательно, то увеличиваем количество смен знака на 1 ($k++$). После чего сохраняем значение B в переменную A и повторяем цикл (рис. 3.33).

Предлагаем читателю самостоятельно разобраться с текстом программы на C++:

```

#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    float A,B; int i,K,N;
    cout<<"N=" ; cin>>N;
    for (K=0,cout<<"A=" , cin>>A, i=2;i<=N; i++)
    {
        cout<<"B=" ; cin>>B;
        if (A*B<0) K++;
        A=B;
    }
    cout<<"K="<<K<<"\n";
    return 0;
}

```

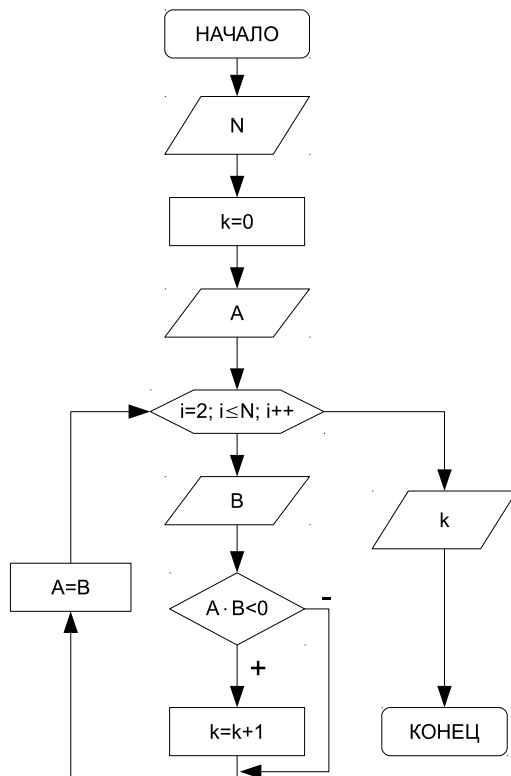


Рис. 3.33. Алгоритм решения задачи 3.22.

}

Задача 3.23. Поступает последовательность из N вещественных чисел. Определить количество простых чисел в последовательности.

Блок-схема алгоритма изображена на рис. 3.34. Обратите внимание, что для решения задачи было организовано два цикла. Первый цикл обеспечивает ввод элементов последовательности. Второй цикл, находится внутри первого и определяет, является ли поступившее число простым (задача 3.15).

```

#include <iostream>
using namespace std;
int main()

```

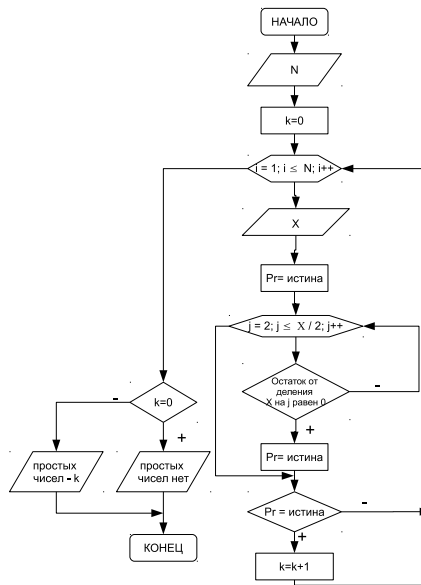


Рис. 3.34. Алгоритм поиска простых чисел в последовательности.

```

{
    unsigned long int X;
    unsigned int N;
    int i, k, j;
    bool Pr;
    for (k=0, cout<<"N=", cin>>N, i=1; i<=N; i++)
    {
        for (cout<<"X=", cin>>X, Pr=true, j=2; j<=X/2; j++)
            if (X%j==0)
            {
                Pr=false;
                break;
            }
        if (Pr) k++;
    }
    if (k==0) cout<<"Prime numbers are not \n";
    else cout<<"Prime numbers k="<<k<<"\n";
    return 0;
}

```

Задача 3.24. Дано K наборов ненулевых целых чисел. Каждый набор содержит не менее двух элементов, признаком его завершения является число 0. Найти количество наборов, элементы которых возрастают.

Блок-схема алгоритма решения задачи показана на рис. 3.35. Не трудно заметить, что алгоритм реализован с помощью двух циклических процессов. Внутренний цикл проверяет является ли последовательность возрастающей, а внешний повторяет алгоритм для новой последовательности.

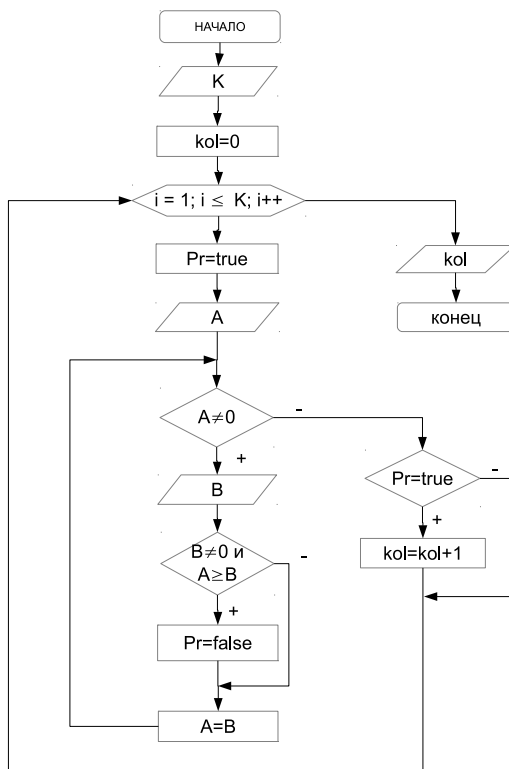


Рис. 3.35. Алгоритм решения задачи 3.24.

Программный код решения задачи 3.24:

```
#include <iostream>
```

```

using namespace std;
int main()
{
    unsigned int K, i, kol, A, B; bool pr;
    for (cout<<"K=", cin>>K, kol=0,i=1;i<=K;i++)
    {
        for (pr=true, cout<<"A=", cin>>A;A!=0; A=B)
        {
            cout<<"B="; cin>>B;
            if (B!=0 && A>=B) pr=false;
        }
        if (pr) kol++;
    }
    cout << "kol=" << kol<<endl;
    return 0;
}

```

3.6 Задачи для самостоятельного решения

3.6.1 Разветвляющийся процесс. Вычисление значения функции.

Разработать программу на языке C++. Дано вещественное число a . Для функции $y = f(x)$, график которой приведен ниже вычислить $f(a)$. Варианты заданий представлены на рис. 3.36–3.60.

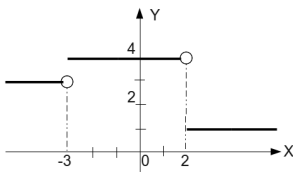


Рис. 3.36. Задание 1

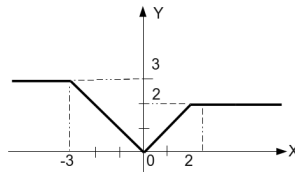


Рис. 3.37. Задание 2

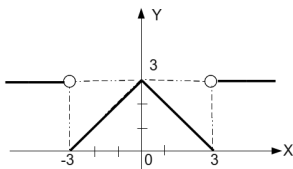


Рис. 3.38. Задание 3

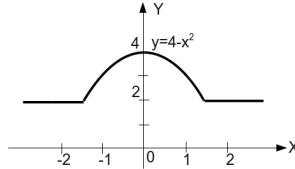


Рис. 3.39. Задание 4

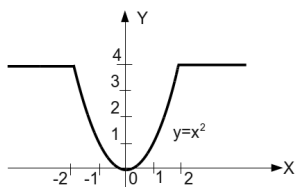


Рис. 3.40. Задание 5

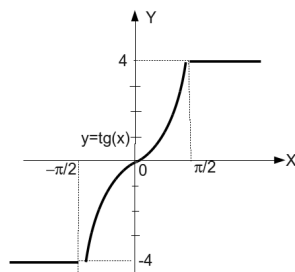


Рис. 3.41. Задание 6

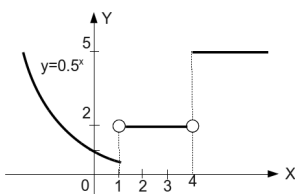


Рис. 3.42. Задание 7

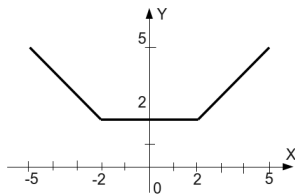


Рис. 3.43. Задание 8

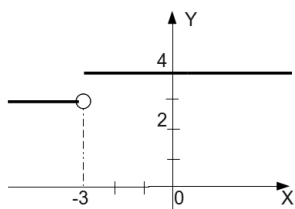


Рис. 3.44. Задание 9

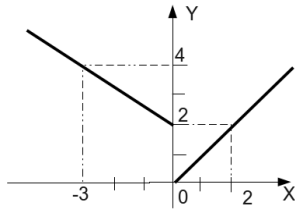


Рис. 3.45. Задание 10

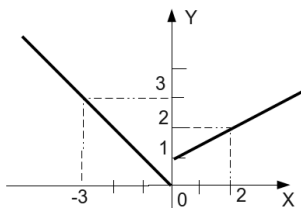


Рис. 3.46. Задание 11

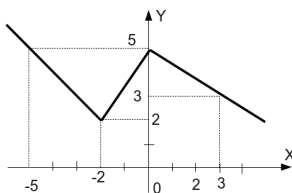


Рис. 3.47. Задание 12

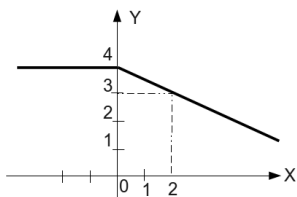


Рис. 3.48. Задание 13

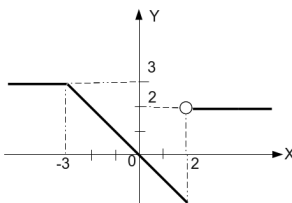


Рис. 3.49. Задание 14

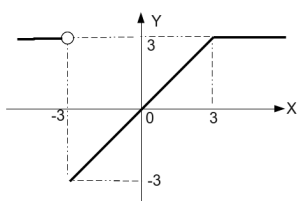


Рис. 3.50. Задание 15

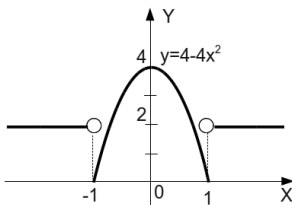


Рис. 3.51. Задание 16

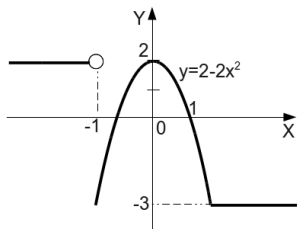


Рис. 3.52. Задание 17

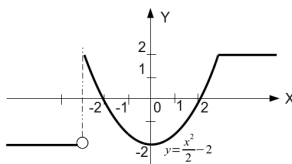


Рис. 3.53. Задание 18

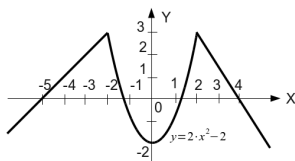


Рис. 3.54. Задание 19

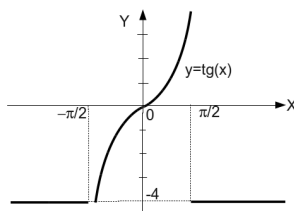


Рис. 3.55. Задание 20

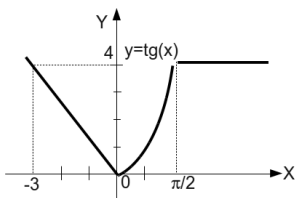


Рис. 3.56. Задание 21

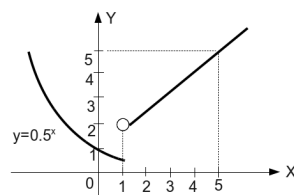


Рис. 3.57. Задание 22

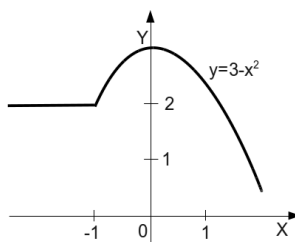


Рис. 3.58. Задание 23

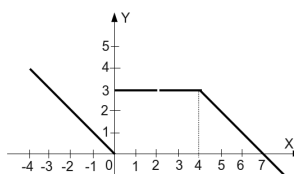


Рис. 3.59. Задание 24

3.6.2 Разветвляющийся процесс. Попадание точки в плоскость.

Разработать программу на языке C++. Даны вещественные числа x и y . Определить принадлежит ли точка с координатами $(x; y)$ заштрихованной части плоскости. Варианты заданий представлены на рис. 3.61–3.85.

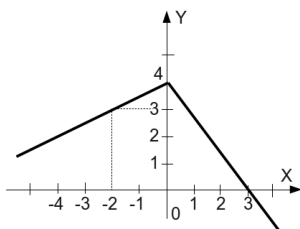


Рис. 3.60. Задание 25

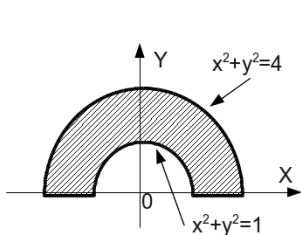


Рис. 3.61. Задание 1

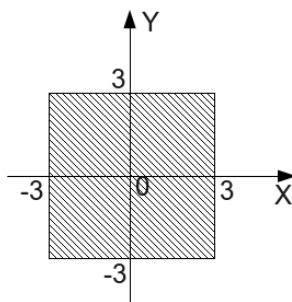


Рис. 3.62. Задание 2

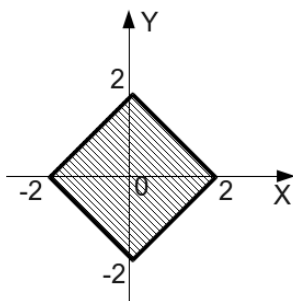


Рис. 3.63. Задание 3

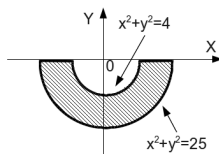


Рис. 3.64. Задание 4

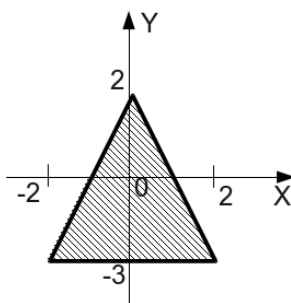


Рис. 3.65. Задание 5

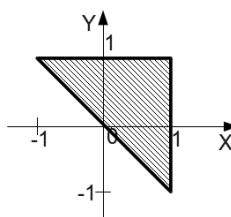


Рис. 3.66. Задание 6

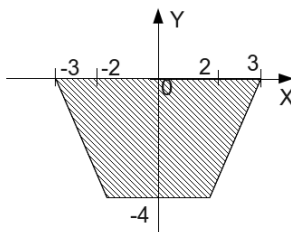


Рис. 3.67. Задание 7

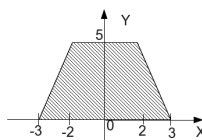


Рис. 3.68. Задание 8

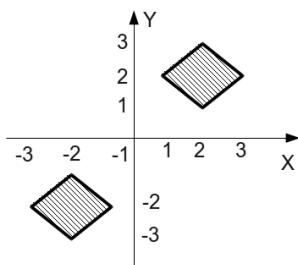


Рис. 3.69. Задание 9

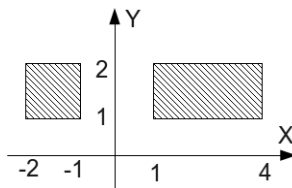


Рис. 3.70. Задание 10

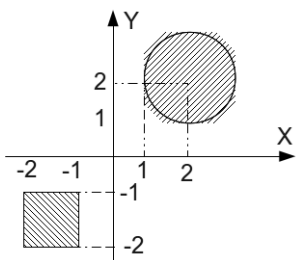


Рис. 3.71. Задание 11

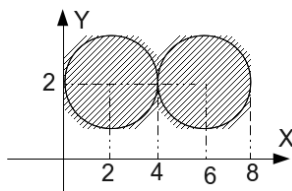


Рис. 3.72. Задание 12

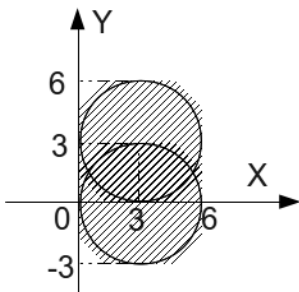


Рис. 3.73. Задание 13

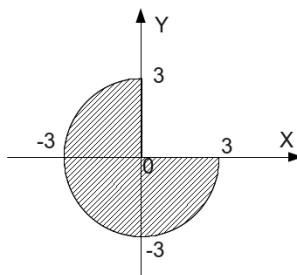


Рис. 3.74. Задание 14

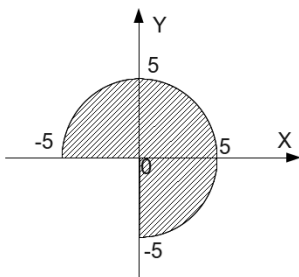


Рис. 3.75. Задание 15

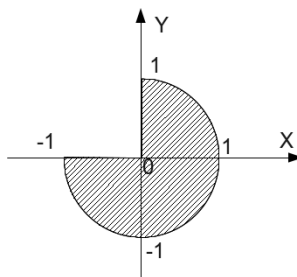


Рис. 3.76. Задание 16

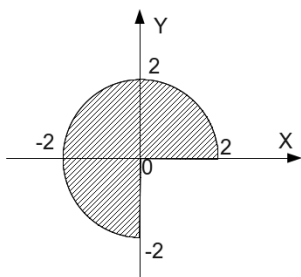


Рис. 3.77. Задание 17

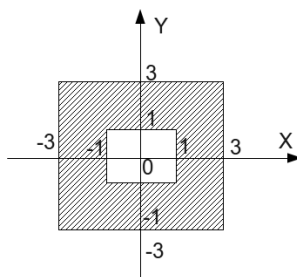


Рис. 3.78. Задание 18

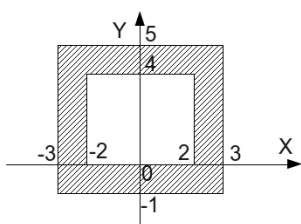


Рис. 3.79. Задание 19

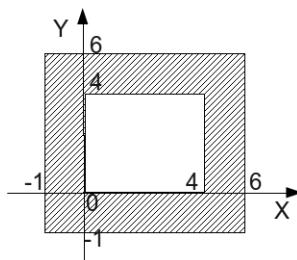


Рис. 3.80. Задание 20

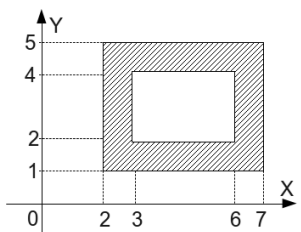


Рис. 3.81. Задание 21

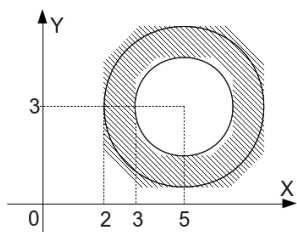


Рис. 3.82. Задание 22

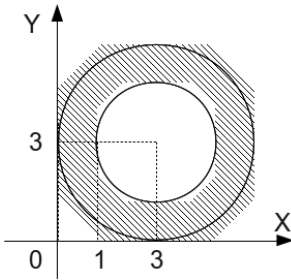


Рис. 3.83. Задание 23

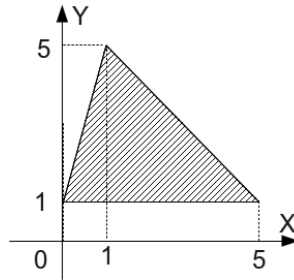


Рис. 3.84. Задание 24

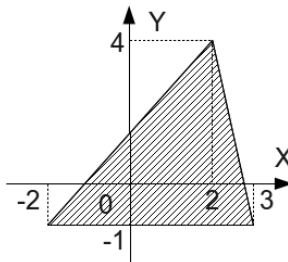


Рис. 3.85. Задание 25

3.6.3 Разветвляющийся процесс. Пересечение линий и решение уравнений.

Разработать программу на языке C++ для следующих заданий:

1. Задан круг с центром в точке $O(x_0, y_0)$, радиусом R_0 и точка $A(x_1, y_1)$. Определить, находится ли точка внутри круга.
2. Задана окружность с центром в точке $O(x_0, y_0)$ и радиусом R_0 . Определить пересекается ли заданная окружность с осью абсцисс, если пересекается найти точки пересечения.
3. Задана окружность с центром в точке $O(x_0, y_0)$ и радиусом R_0 . Определить пересекается ли заданная окружность с осью ординат, если пересекается найти точки пересечения.

4. Задана окружность с центром в точке $O(0, 0)$ и радиусом R_0 и прямая $y = ax + b$. Определить, пересекаются ли прямая и окружность. Если пересекаются, найти точки пересечения.
5. Заданы окружности. Первая с центром в точке $O(x_1, y_1)$ и радиусом R_1 , вторая с центром в точке $O(x_2, y_2)$ и радиусом R_2 . Определить пересекаются ли окружности, касаются или не пересекаются.
6. Заданы три точки $A(x_1, y_1)$, $B(x_2, y_2)$, $C(x_3, y_3)$. Определить какая из точек наиболее удалена от начала координат.
7. Заданы три точки $A(x_1, y_1)$, $B(x_2, y_2)$, $C(x_3, y_3)$. Определить какая из точек B или C наименее удалена от точки A .
8. Определить, пересекаются ли линии $y = ax + b$ и $y = kx + m$. Если пересекаются, найти точку пересечения.
9. Определить, пересекает ли линия $y = ax + b$ ось абсцисс. Если пересекает, найти точку пересечения.
10. Определить, пересекаются ли линии $y = ax^3 + bx^2 + cx + d$ и $y = kx + m$. Если пересекаются, найти точки пересечения.
11. Определить, пересекаются ли линии $y = ax^3 + bx^2 + cx + d$ и $y = kx^3 + mx^2 + nx + p$. Если пересекаются, найти точки пересечения.
12. Определить, пересекаются ли линии $y = ax^3 + bx^2 + cx + d$ и $y = ax^3 + mx^2 + nx + p$. Если пересекаются, найти точки пересечения.
13. Определить, пересекаются ли линии $y = ax^3 + bx^2 + cx + d$ и $y = mx^2 + nx + p$. Если пересекаются, найти точку пересечения.
14. Определить, пересекает ли линия $y = ax^3 + bx^2 + cx + d$ ось абсцисс. Если пересекает, найти точку пересечения.
15. Определить, пересекаются ли параболы $y = ax^2 + bx + c$ и $y = dx^2 + mx + n$. Если пересекаются, то найти точки пересечения.
16. Определить, пересекаются ли линии $y = bx^2 + cx + d$ и $y = kx + m$. Если пересекаются, найти точки пересечения.
17. Найти точки пересечения линии $y = ax^2 + bx + c$ с осью абсцисс. Если линии не пересекаются выдать соответствующее сообщение.
18. Определить, пересекаются ли линии $y = ax^4 + bx^3 + cx^2 + dx + f$ и $y = bx^3 + mx^2 + dx + p$. Если пересекаются, найти точки пересечения.
19. Определить, пересекаются ли линии $y = ax^4 + bx^2 + kx + c$ и $y = mx^2 + kx + p$. Если пересекаются, найти точки пересечения.
20. Определить, пересекает ли линия $y = ax^4 + bx^2 + c$ ось абсцисс. Если пересекает, найти точки пересечения.

21. Найти комплексные корни уравнения $y = ax^4 + bx^2 + c$. Если в уравнении нет комплексных корней вывести соответствующее сообщение.
22. Найти комплексные корни уравнения $y = ax^3 + bx^2 + cx + d$. Если в уравнении нет комплексных корней вывести соответствующее сообщение.
23. Найти комплексные корни уравнения $y = ax^2 + bx + c$. Если в уравнении нет комплексных корней вывести соответствующее сообщение.
24. Даны координаты точки на плоскости. Если точка совпадает с началом координат, то вывести 0. Если точка не совпадает с началом координат, но лежит на оси OX или OY , то вывести соответственно 1 или 2. Если точка не лежит на координатных осях, то вывести 3.
25. Даны координаты точки, не лежащей на координатных осях OX и OY . Определить номер координатной четверти, в которой находится данная точка.

3.6.4 Циклический процесс. Вычисление значений функции

Разработать программу на языке C++. Для решения задачи использовать операторы `for`, `while`, `do`. Варианты заданий:

1. Вывести на экран таблицу значений функции синус в диапазоне от $-2 \cdot \pi$ до $2 \cdot \pi$ с шагом $\frac{\pi}{8}$.
2. Вывести на экран таблицу квадратов первых десяти целых положительных чисел.
3. Вывести на экран таблицу значений функции косинус в диапазоне от $-2 \cdot \pi$ до $2 \cdot \pi$ с шагом $\frac{\pi}{8}$.
4. Вывести на экран таблицу кубов первых десяти целых положительных чисел.
5. Вывести на экран таблицу значений квадратов синусов в диапазоне от $-\pi$ до π с шагом $\frac{\pi}{12}$.
6. Вывести на экран таблицу значений квадратов косинусов в диапазоне от 0 до $2 \cdot \pi$ с шагом $\frac{\pi}{10}$.
7. Вывести на экран таблицу квадратов первых десяти целых четных положительных чисел.
8. Вывести на экран таблицу квадратов первых десяти целых нечетных положительных чисел.

9. Вывести на экран таблицу значений удвоенных синусов в диапазоне от $-a$ до a с шагом h . Значения a и h вводятся с клавиатуры.
10. Вывести на экран таблицу значений удвоенных косинусов в диапазоне от a до b с шагом h . Значения a , b и h вводятся с клавиатуры.
11. Вывести на экран таблицу кубов первых десяти целых нечетных положительных чисел.
12. Вывести на экран таблицу кубов первых десяти целых четных положительных чисел.
13. Вывести на экран таблицу значений функции $y = e^{2x}$ в диапазоне от $-a$ до a с шагом h . Значения a и h вводятся с клавиатуры.
14. Вывести на экран таблицу значений функции $y = 5 \cdot e^{-3x}$ в диапазоне от a до b с шагом h . Значения a , b и h вводятся с клавиатуры.
15. Вывести на экран таблицу квадратов первых десяти целых отрицательных чисел.
16. Вывести на экран таблицу кубов первых десяти целых отрицательных чисел.
17. Вывести на экран таблицу квадратных корней первых десяти целых положительных чисел.
18. Вывести на экран таблицу кубических корней первых десяти целых положительных чисел.
19. Вывести на экран таблицу значений функции $y = 2 \cdot x^2 + 3 \cdot x - 1$ в диапазоне от $-a$ до a с шагом h . Значения a и h вводятся с клавиатуры.
20. Вывести на экран таблицу значений функции $y = 5.4 \cdot x^3 - 2.8 \cdot x^2 - x + 1.6$ в диапазоне от a до b с шагом h . Значения a , b и h вводятся с клавиатуры.
21. Вывести на экран таблицу квадратных корней первых десяти целых положительных чётных чисел.
22. Вывести на экран таблицу квадратных корней первых десяти целых положительных нечётных чисел.
23. Вывести на экран таблицу значений функции $y = -1.8 \cdot x^3 - e^2 x + \frac{1}{6}$ в диапазоне от -3 до 4 с шагом $\frac{1}{2}$.
24. Вывести на экран таблицу значений функции $y = -1.3 \cdot x^2 - \frac{e^x}{4}$ в диапазоне от -2 до 2 с шагом $\frac{1}{4}$.
25. Вывести на экран таблицу степеней двойки в диапазоне от 0 до 10 с шагом 1 .

3.6.5 Циклический процесс. Последовательности натуральных чисел

Разработать программу на языке C++ для следующих заданий:

1. Дано целое положительное число N . Вычислить сумму натуральных нечетных чисел не превышающих это число.
2. Дано целое положительное число N . Вычислить произведение натуральных четных чисел не превышающих это число.
3. Дано целое положительное число N . Вычислить количество натуральных чисел кратных трем и не превышающих число N .
4. Задано целое положительное число n . Определить значение выражения:

$$P = \frac{n!}{\sum_{i=1}^n i}.$$

5. Вычислить количество натуральных двузначных четных чисел не делящихся на 10.
6. Задано целое положительное число n . Определить значение выражения:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n i^2}{n!}.$$

7. Вычислить сумму натуральных удвоенных чисел не превышающих 25.
8. Задано целое положительное число n . Определить значение выражения:

$$P = \frac{\sum_{i=3}^n i - 2}{(n+1)!}.$$

9. Дано целое положительное число N . Вычислить сумму квадратов натуральных чётных чисел не превышающих это число.
10. Дано целое положительное число N . Вычислить количество натуральных чисел кратных пяти и не превышающих число N .
11. Определить значение выражения:

$$P = \frac{\sum_{i=0}^5 3^i}{5!}.$$

12. Дано целое положительное число N . Вычислить сумму удвоенных натуральных нечётных чисел не превышающих это число.
13. Задано целое положительное число n . Определить значение выражения:

$$P = \sum_{i=2}^n i^2 - i.$$

14. Найти сумму нечётных степеней двойки. Значение степени изменяется от 1 до 9.
15. Задано целое положительное число n . Определить значение выражения:

$$P = \frac{1}{3} \cdot \sum_{i=1}^n 2 \cdot i^2 - i + 1.$$

16. Дано целое положительное число N . Вычислить произведение натуральных чисел кратных трем и не превышающих число N .
17. Задано целое положительное число n . Определить значение выражения:

$$P = \sum_{i=3}^{n+2} 2 \cdot i - 4.$$

18. Вычислить сумму натуральных трёхзначных чисел кратных пяти и не делящихся на десять.
19. Определить значение выражения:

$$P = \sum_{i=0}^{10} 2^i.$$

20. Вычислить количество натуральных двузначных нечётных чисел не делящихся на 5.
21. Задано целое положительное число n . Определить значение выражения:

$$P = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} i + 1}{(2n)!}.$$

22. Задано целое положительное число n . Определить значение выражения:

$$P = \frac{\sum_{i=5}^{15} i}{(2 \cdot n + 1)!}.$$

23. Найти произведение чётных степеней двойки. Значение степени изменяется от 0 до 8.
24. Вычислить произведение натуральных чисел не превышающих 15.
25. Вычислить произведение натуральных двузначных чисел кратных трем и не делящихся на 10.

3.6.6 Циклический процесс. Последовательности произвольных чисел

Разработать программу на языке C++ для следующих заданий:

1. Вводится последовательность ненулевых чисел, 0 — конец последовательности. Определить сумму положительных элементов последовательности.
2. Вычислить сумму отрицательных элементов последовательности из N произвольных чисел.
3. Вводится последовательность ненулевых чисел, 0 — конец последовательности. Определить сколько раз последовательность поменяет знак.
4. В последовательности из N произвольных чисел подсчитать количество нулей.
5. Вводится последовательность ненулевых чисел, 0 — конец последовательности. Определить наибольшее число в последовательности.
6. Вводится последовательность из N произвольных чисел найти наименьшее число в последовательности.
7. Вводится последовательность ненулевых чисел, 0 — конец последовательности. Определить среднее значение элементов последовательности.
8. Вводится последовательность из N произвольных чисел, найти среднее значение положительных элементов последовательности.
9. Вводится последовательность ненулевых чисел, 0 — конец последовательности. Подсчитать процент положительных и отрицательных чисел.
10. Вводится последовательность из N произвольных чисел. Определить процент положительных, отрицательных и нулевых элементов.

11. Вводится последовательность из N произвольных чисел. Вычислить разность между наименьшим и наибольшим значениями последовательности.
12. Вводится последовательность из N положительных целых чисел. Найти наименьшее число среди четных элементов последовательности.
13. Вводится последовательность из N положительных целых чисел. Определить является ли эта последовательность знакопередающей.
14. Определить является ли последовательность из N произвольных чисел строго возрастающей (каждый следующий элемент больше предыдущего).
15. Вводится последовательность произвольных чисел, 0 — конец последовательности. Определить является ли эта последовательность строго убывающей (каждый следующий элемент меньше предыдущего).
16. Вводится последовательность ненулевых целых чисел, 0 — конец последовательности. Определить среднее значение чётных элементов последовательности.
17. Вводится последовательность из N произвольных чисел, найти среднее значение отрицательных элементов последовательности.
18. В последовательности из N целых чисел подсчитать четных и нечетных чисел.
19. Вводится последовательность целых чисел, 0 — конец последовательности. Определить процент чётных и нечётных чисел в последовательности.
20. Вводится последовательность из N целых чисел. Определить содержит ли последовательность хотя бы два соседних одинаковых числа.
21. Вводится последовательность целых чисел, 0 — конец последовательности. Определить наибольшее число среди нечетных элементов последовательности.
22. Вводится последовательность произвольных чисел, 0 — конец последовательности. Определить сумму и количество чисел в последовательности.
23. Вводится последовательность из N произвольных чисел. Найти сумму положительных и сумму отрицательных элементов последовательности.

24. Вводится последовательность произвольных чисел, 0 — конец последовательности. Определить отношение минимального и максимального элементов друг к другу.
25. Вводится последовательность из N целых чисел. Определить количество одинаковых рядом стоящих чисел.

3.6.7 Циклический процесс. Работа с цифрами в числе

Разработать программу на языке C++ для следующих заданий:

1. Определить является ли целое положительное число *совершенным*. Совершенное число равно сумме всех своих делителей, не превосходящих это число. Например, $6=1+2+3$ или $28=1+2+4+7+14$.
2. Проверить является ли пара целых положительных чисел *дружественными*. Два различных натуральных числа являются дружественными, если сумма всех делителей первого числа (кроме самого числа) равна второму числу. Например, 220 и 284, 1184 и 1210, 2620 и 2924, 5020 и 5564.
3. Определить является ли целое положительное число *недостаточным*. Недостаточное число всегда больше суммы всех своих делителей за исключением самого числа.
4. Вводится целое положительное число. Определить количество четных и нечетных цифр в числе.
5. Вводится целое положительное число. Найти число, которое равно сумме кубов цифр исходного числа.
6. Задача о «счастливом» билете. Вводится целое положительное шестизначное число. Определить совпадает ли сумма первых трех цифр с суммой трех последних.
7. Задача о «встречном» билете. Вводится целое положительное шестизначное число. Убедиться, что разница между суммой первых трех цифр и суммой последних трех цифр равна единице.
8. Задано целое положительное число. Определить количество его четных и нечетных делителей.
9. Проверить является ли два целых положительных числа *взаимно простыми*. Два различных натуральных числа являются взаимно простыми, если их наибольший общий делитель равен единице.
10. Определить является ли целое положительное число *составным*. Составное число имеет более двух делителей, то есть не является *простым*.

11. Вводится целое положительное число. Найти наименьшую цифру числа.
12. Задано целое положительное число. Определить является ли оно *числом Армстронга*. Число Армстронга — натуральное число, которое равно сумме своих цифр, возведённых в степень, равную количеству его цифр. Например, десятичное число 153 — число Армстронга, потому что: $1^3 + 3^3 + 5^3 = 1 + 27 + 125 = 153$.
13. Вводится целое положительное число. Найти произведение всех ненулевых цифр числа.
14. Вводится целое положительное число. Найти наибольшую цифру числа.
15. Вводится целое положительное число. Определить позицию наибольшей цифры в числе.
16. Вводится целое положительное число. Найти число, которое равно сумме удвоенных цифр исходного числа.
17. Вводится целое положительное число. Найти число, которое равно сумме квадратов цифр исходного числа.
18. Задано целое положительное число. Определить сумму его делителей.
19. Вводится целое положительное число. Определить позицию наименьшей цифры в числе.
20. Проверить, что два целых положительных числа не являются *взаимно простыми*. Различные натуральные числа не являются взаимно простыми, если их наибольший общий делитель отличен от единицы.
21. Убедиться, что заданное целое положительное число не является *палиндромом*. Числа палиндромы симметричны относительно своей середины, например, 12021 или 454.
22. Убедиться, что заданное целое положительное число не является *совершенным*. Совершенное число равно сумме всех своих делителей, не превосходящих это число. Например, $6=1+2+3$ или $28=1+2+4+7+14$.
23. Проверить, что два целых положительных числа не являются *дружественными*. Два различных натуральных числа являются дружественными, если сумма всех делителей первого числа (кроме самого числа) равна второму числу. Например, 220 и 284, 1184 и 1210, 2620 и 2924, 5020 и 5564.
24. Вводится целое положительное число. Найти число, которое равно сумме утроенных цифр исходного числа.
25. Вводятся два целых положительных числа. Найти сумму их цифр.

3.6.8 Вложенные циклы

Разработать программу на языке C++ для следующих заданий:

1. Дано натуральное число P . Вывести на печать все простые числа не превосходящие P .
2. Дано натуральное число P . Вывести на печать все совершенные числа не превосходящие P .
3. Вводится последовательность положительных целых чисел, 0 — конец последовательности. Определить количество совершенных чисел в последовательности.
4. Вводится последовательность положительных целых чисел, 0 — конец последовательности. Определить количество простых чисел в последовательности.
5. Вводится последовательность из N положительных целых чисел. Для каждого элемента последовательности вычислить факториал.
6. Вводится последовательность из N положительных целых чисел. Вывести на печать все числа — палиндромы. Если таких чисел нет, выдать соответствующее сообщение.
7. Вводится последовательность из N положительных целых чисел. Определить разрядность каждого числа.
8. Вводится последовательность из N положительных целых чисел. Вывести на печать количество делителей каждого числа.
9. Вводится последовательность положительных целых чисел, 0 — конец последовательности. Определить сумму цифр каждого элемента последовательности.
10. Дано K наборов ненулевых целых чисел. Признаком завершения каждого набора является число 0. Для каждого набора вывести количество его элементов. Вычислить общее количество элементов.
11. Дано K наборов ненулевых целых чисел. Признаком завершения каждого набора является число 0. Для каждого набора вычислить среднее арифметическое его элементов.
12. Даны K наборов целых чисел по N элементов в каждом наборе. Для каждого набора найти наибольшее значение его элементов.
13. Даны K наборов целых чисел по N элементов в каждом наборе. Определить есть ли среди наборов данных знакочередующиеся последовательности.
14. Даны K наборов целых чисел по N элементов в каждом наборе. Определить есть ли среди наборов данных строго возрастающие последовательности.

15. Дано K наборов ненулевых целых чисел. Признаком завершения каждого набора является число 0. Для каждого набора найти наименьшее значение его элементов.
16. Даны K наборов целых чисел по N элементов в каждом наборе. Для каждого набора вычислить произведение ненулевых элементов.
17. Даны K наборов целых чисел по N элементов в каждом наборе. Найти наибольшее число для всех наборов.
18. Дано K наборов ненулевых целых чисел. Признаком завершения каждого набора является число 0. Вычислить среднее арифметическое всех элементов во всех наборах.
19. Дано K наборов ненулевых целых чисел. Признаком завершения каждого набора является число 0. Найти количество возрастающих наборов.
20. Дано K наборов ненулевых целых чисел. Признаком завершения каждого набора является число 0. Найти количество убывающих наборов.
21. Дано K наборов ненулевых целых чисел. Признаком завершения каждого набора является число 0. Найти количество наборов не являющихся знакопеременными.
22. Дано K наборов ненулевых целых чисел. Признаком завершения каждого набора является число 0. Найти количество наборов элементы которых не возрастают и не убывают.
23. Даны целые положительные числа N и M ($N < M$). Вывести все целые числа от N до M включительно; при этом каждое число должно выводиться столько раз, каково его значение (например, число 5 выводится 5 раз).
24. Дано целое число $N > 0$. Найти сумму $1! + 2! + 3! + \dots + N!$
25. Даны целые числа N и M ($N < M$). Вывести все целые числа от N до M включительно; при этом число N должно выводиться 1 раз, число $N + 1$ должно выводиться 2 раза и т. д.

Глава 4

Использование функций при программировании на C++

В практике программирования часто складываются ситуации, когда одну и ту же группу операторов, реализующих определенную цель, требуется повторить без изменений в нескольких местах программы. Для избавления от столь нерациональной траты времени была предложена концепция подпрограммы.

Подпрограмма — именованная, логически законченная группа операторов языка, которую можно вызвать для выполнения любое количество раз из различных мест программы. В языке C++ подпрограммы реализованы в виде *функций* [4].

4.1 Общие сведения о функциях. Локальные и глобальные переменные

Функция — это поименованный набор описаний и операторов, выполняющих определенную задачу. Функция может принимать параметры и возвращать значение. Информация, передаваемая в функцию для обработки, называется *параметром*, а результат вычислений функции ее *значением*. Обращение к функции называют *вызовом*. Как известно (п. 2.8) любая программа на C++ состоит из одной или нескольких функций. При запуске программы первой выполняется функция `main`. Если среди операторов функции `main` встречается вызов функции, то управление передается операторам функции. Когда

все операторы функции будут выполнены, управление возвращается оператору, следующему за вызовом функции.

Перед вызовом функции должны быть обязательно описана. *Описание функции* состоит из заголовка и тела функции:

```
тип имя_функции(список_переменных)
{
    тело_функции
}
```

Заголовок функции содержит:

- **тип**, возвращаемого функцией значения, он может быть любым; если функция не возвращает значения, указывают тип `void`;
- **имя_функции**;
- **список_переменных** — перечень передаваемых в функцию величин (*аргументов*), которые отделяются друг от друга запятыми; для каждой переменной из списка указывается **тип** и **имя**; если функция не имеет аргументов, то в скобках указывают либо тип `void`, либо ничего.

Тело функции представляет собой последовательность описаний и операторов, заключенных в фигурные скобки.

В общем виде *структура программы* на C++ может иметь вид:

```
директивы компилятора
тип имя_1(список_переменных)
{
    тело_функции_1;
}

тип имя_2(список_переменных)
{
    тело_функции_2;
}

...

тип имя_n(список_переменных)
{
    тело_функции_n;
}

int main(список_переменных)
{
    //Тело функции может содержать операторы вызова функций имя_1, имя_2,
    ..., имя_n
    тело_основной_функции;
}
```

Однако допустима и другая *форма записи программного кода*:

```
директивы компилятора
тип имя_1(список_переменных);
тип имя_2(список_переменных);
...
тип имя_n(список_переменных);
int main(список_переменных)
{
    //Тело функции может содержать операторы вызова функций имя_1, имя_2,
    ..., имя_n
    тело_основной_функции;
}
тип имя_1(список_переменных)
{
    тело_функции_1;
}

тип имя_2(список_переменных)
{
    тело_функции_2;
}

...

тип имя_n(список_переменных)
{
    тело_функции_n;
}
```

Здесь функции описаны после функции `main()`, однако до нее перечислены заголовки всех функций. Такого рода опережающие заголовки называют *прототипами функций*. Прототип указывает компилятору тип данных, возвращаемых функцией, тип переменных, выступающих в роли аргументов и порядок их следования. Прототипы используются для проверки правильности вызова функций в основной программе. Имена переменных, указанные в прототипе функции, компилятор игнорирует:

```
//Записи равносильны.
int func(int a, int b);
int func(int ,int);
```

Вызвать функцию можно в любом месте программы. Для вызова функции необходимо указать ее имя и в круглых скобках, через запятую перечислить имена или значения аргументов, если таковые имеются:

```
имя_функции(список_переменных);
```

Рассмотрим пример. Создадим функцию `f()`, которая не имеет входных значений и не формирует результат. При вызове этой функции на экран выводится строка символов "Happy new year, ".

```
#include <iostream>
using namespace std;
void f() //Описание функции.
{
    cout << "Happy new year, ";
}
int main()
{
    f(); //Вызов функции.
    cout <<"Students!" << endl;
    f(); //Вызов функции.
    cout <<"Teachers!" << endl;
    f(); //Вызов функции.
    cout <<"People!" << endl;
}
```

Результатом работы программы будут три строки:

```
Happy new year, Students!
Happy new year, Teachers!
Happy new year, People!
```

Далее приведен пример программы, которая пять раз выводит на экран фразу "Hello World!". Операция вывода строки символов оформлена в виде функции `fun()`. Эта функция так же не имеет входных значений и не формирует результат. Вызов функции осуществляется в цикле:

```
#include <iostream>
using namespace std;
void fun()
{
    cout << "Hello World!" << endl;
}

int main()
{
    for(int i=1;i<=5;fun(),i++);
}
```

Если тип возвращаемого значения не `void`, то функция может входить в состав выражений. *Типы и порядок следования переменных в определении и при вызове функции должны совпадать.* Для того чтобы функция вернула какое-либо значение, в ней должен быть оператор:

return (выражение);

Далее приведен пример программы, которая вычисляет значение выражения $\sin^2(\alpha) + \cos^2(\alpha) = 1$ при заданном значении α . Здесь функция **radian** выполняет перевод градусной меры угла в радианную¹.

```
#include <iostream>
#include <math.h>
#define PI 3.14159
using namespace std;
double radian(int deg, int min, int sec)
{
    return (deg*PI/180+min*PI/180/60+sec*PI/180/60/60);
}
int main()
{
    int DEG,MIN,SEC; double RAD;
    //Ввод данных.
    cout<<"Input: "<<endl; //Величина угла:
    cout<<"DEG="; cin>>DEG; //градусы,
    cout<<"MIN="; cin>>MIN; //минуты,
    cout<<"SEC="; cin>>SEC; //секунды.
    //Величина угла в радианах.
    RAD=radian (DEG,MIN,SEC); //Вызов функции.
    cout << "Value in radian A="<<RAD << endl;
    //Вычисление значения выражения и его вывод.
    cout << "sin(A)^2+cos(A)^2=";
    cout << pow(sin(RAD),2)+pow(cos(RAD),2) << endl;
    return 0;
}
```

Переменные, описанные внутри функции, а так же переменные из списка аргументов, являются *локальными*. Например, если программа содержит пять разных функций, в каждой из которых описана переменная N , то для C++ это пять различных переменных. Область действия локальной переменной не выходит за рамки функции. Значения локальных переменных между вызовами одной и той же функции не сохраняются.

Переменные, определенные до объявления всех функций и доступные всем функциям, называют *глобальными*. В функции глобальную переменную можно отличить, если не описана локальная переменная с теми же именем.

¹Чтобы найти радианную меру какого-нибудь угла по заданной градусной мере, нужно помножить число градусов на $\frac{\pi}{180}$, число минут на $\frac{\pi}{180 \cdot 60}$, число секунд на $\frac{\pi}{180 \cdot 60 \cdot 60}$ найденные произведения сложить.

Глобальные переменные применяют для передачи данных между функциями, но это затрудняет отладку программы. Для обмена данными между функциями используют параметры функций и значения, возвращаемые функциями.

4.2 Передача параметров в функцию

Обмен информацией между вызываемой и вызывающей функциями осуществляется с помощью *механизма передачи параметров*. `Список_переменных`, указанный в заголовке функции называется *формальными параметрами* или просто *параметрами* функции. `Список_переменных` в операторе вызова функции — это *фактические параметры* или *аргументы*.

Механизм передачи параметров обеспечивает замену формальных параметров фактическими параметрами, и позволяет выполнять функцию с различными данными. Между фактическими параметрами в операторе вызова функции и формальными параметрами в заголовке функции устанавливается взаимно однозначное соответствие. *Количество, типы и порядок следования формальных и фактических параметров должны совпадать*.

Передача параметров выполняется следующим образом. Вычисляются выражения, стоящие на месте фактических параметров. В памяти выделяется место под формальные параметры, в соответствии с их типами. Затем формальным параметрам присваиваются значения фактических. Выполняется проверка типов и при необходимости выполняется их преобразование. При несоответствии типов выдается диагностическое сообщение.

Передача параметров в функцию может осуществляться *по значению* и *по адресу*.

При передаче данных по значению функция работает с копиями фактических параметров, и доступа к исходным значениям аргументов у нее нет. При передаче данных по адресу в функцию передается не переменная, а ее адрес, и, следовательно, функция имеет доступ к ячейкам памяти, в которых хранятся значения аргументов. Таким образом, данные, переданные по значению, функция изменить не может, в отличие от данных, переданных по адресу.

Если требуется запретить изменение параметра внутри функции, используют модификатор `const`. Заголовок функции в общем виде будет выглядеть так:

тип имя_функции(const тип_переменной* имя_переменной, ...)

Например:

```
#include <iostream>
using namespace std;
int f1(int i) //Данные передаются по значению
{
    return(i++);
}
int f2(int* j) //Данные передаются по адресу.
               //При подстановке фактического параметра,
               //для получения его значения,
               //применяется операция разадресации *.
{
    return((*j)++);
}
int f3(const int* k) //Изменение параметра не предусмотрено.
{
    return(*k);
}
int main()
{
    int a;
    cout<<"a="; cin>>a;
    f1(a);
    cout<<"a="<<a<<"\n";
    f2(&a); //Для передачи фактического параметра
            //используется операция взятия адреса &.
    cout<<"a="<<a<<"\n";
    f3(&a);
    cout<<"a="<<a<<"\n";
    return 0;
}
```

Результат работы программы:

Введено значение переменной a.

a=5

Значение переменной a после вызова функции f1 не изменилось.

a=5

Значение переменной a после вызова функции f2 изменилось.

a=6

Значение переменной a после вызова функции f3 не изменилось.

a=6

Удобно использовать передачу данных по адресу, если нужно чтобы функция изменяла значения переменных в вызывающей программе.

Далее приведен пример программы, в которой исходя из радианной меры некоторого угла вычисляется величина смежного с ним угла. На экран выводятся значения углов в градусной мере. Функция `degree` выполняет перевод из радианной меры в градусную². Эта функция ничего не возвращает. Ее аргументами являются *значение* переменной `rad`, определяющее величину угла в радианах и *адреса* переменных `deg`, `min`, `sec`, в которых будут храниться вычисленные результаты — градусная мера угла.

```
#include <iostream>
#include <math.h>
#define PI 3.14159
using namespace std;
void degree (double rad, int *deg, int * min, int *sec)
{
    *deg= floor (rad*180/PI);
    *min=floor (((rad*180/PI-(*deg))*60);
    *sec=floor (((rad*180/PI-(*deg))*60-(*min))*60);
}
int main()
{
    int DEG,MIN,SEC; double RAD;
    cout<<"Input: "<<endl;
    cout << "Value in radian A=";cin>>RAD;
    degree (RAD,&DEG,&MIN,&SEC);
    cout << DEG<<" "<<MIN<<" "<<SEC << endl;
    degree (PI-RAD,&DEG,&MIN,&SEC);
    cout << DEG<<" "<<MIN<<" "<<SEC << endl;
    return 0;
}
```

4.3 Возврат результата с помощью оператора return

Возврат результата из функции в вызывающую ее функцию осуществляется оператором

`return (выражение);`

Работает оператор следующим образом. Вычисляется значение *выражения*, указанного после `return` и преобразуется к типу возвращаемого функцией значения. Выполнение функции завершается, а

²Чтобы найти градусную меру угла по заданной радианной нужно помножить число радиан на $\frac{180}{\pi}$; если из полученной дроби выделить целую часть, то получим градусы; если из числа полученного умножением оставшейся дробной части 60 выделить целую часть получим минуты; секунды вычисляются аналогично из дробной части минут.

вычисленное значение передается в вызывающую функцию. Любые операторы, следующие в функции за оператором **return**, игнорируются. Программа продолжает свою работу с оператора следующего за оператором вызова данной функции.

Оператор **return** может отсутствовать в функциях типа **void**, если возврат происходит перед закрывающейся фигурной скобкой, и в функции **main**.

Также функция может содержать несколько операторов **return**, если это определено потребностями алгоритма. Например, в следующей программе, функция **equation** вычисляет корни квадратного уравнения. Если $a = 0$ (уравнение не является квадратным), то в программу передается значение равное -1, если дискриминант отрицательный (уравнение не имеет действительных корней), то 1, а если положительный, то вычисляются корни уравнения и в программу передается 0.

```
#include <iostream>
#include <math.h>
using namespace std;
int equation( float a, float b, float c, float *x1, float *x2)
{ float D=b*b-4*a*c;
  if (a==0) return -1;
  else if (D<0) return 1;
  else {
    *x1=(-b+sqrt(D))/2/a;
    *x2=(-b-sqrt(D))/2/a;
    return 0;
  }
}

int main()
{
  float A, B, C, X1, X2; int P;
  cout<<"Enter the coefficients of the equation:"<<endl;
  cout<<"A="; cin>>A;
  cout<<"B="; cin>>B;
  cout<<"C="; cin>>C;
  P=equation( A, B, C, &X1, &X2);
  if (P==1) cout<<"input Error"<<endl;
  else if (P==1) cout<<"No real roots"<<endl;
  else cout<<"X1="<<X1<<" X2="<<X2<<endl;
  return 0;
}
```

4.4 Решение задач с использованием функций

Рассмотрим несколько задач с применением функций.

Задача 4.1. Вводится последовательность из N целых чисел, найти среднее арифметическое совершенных чисел и среднее геометрическое простых чисел последовательности.

Напомним, что целое число называется *простым*, если оно делится нацело только на само себя и единицу. Подробно алгоритм определения простого числа описан в задаче 3.15 (рис. 3.29). В этой задаче кроме простых чисел фигурируют совершенные числа. Число называется *совершенным*, если сумма всех делителей, меньших его самого равна этому числу. Алгоритм, с помощью которого можно определить делители числа, подробно рассмотрен в задаче 3.14 (рис. 3.28).

Для решения поставленной задачи понадобятся две функции:

- **prostoe** — определяет, является ли число простым, аргумент функции целое число N ; функция возвращает 1, если число простое и 0 — в противном случае;
- **soversh** — определяет, является ли число совершенным; входной параметр целое число N ; функция возвращает 1, если число является совершенным и 0 — в противном случае.

```
#include <iostream>
#include <math.h>
unsigned int prostoe(unsigned int N) //Описание функции.
{
    //Функция определяет, является ли число простым.
    int i, pr;
    for (pr=1, i=2; i<=N/2; i++)
        if (N%i==0) {pr=0; break;}
    return pr;
}
unsigned int soversh(unsigned int N) //Описание функции.
{
    //Функция определяет, является ли число совершенным.
    unsigned int i, S;
    for (S=0, i=1; i<=N/2; i++)
        if (N%i==0) S+=i; //Сумма делителей.
    if (S==N) return 1;
    else return 0;
}
using namespace std;
int main()
{
    unsigned int i, N, X, S, kp, ks;
    long int P;
    cout << "N="; cin >> N;
```

```

for (kp=ks=S=0,P=1,i=1;i<=N;i++)
{
    cout <<"X="; cin >> X; //Вводится элемент последовательности.
    if (prostoe(X)) // X — простое число.
    {
        kp++; //Счетчик простых чисел.
        P*=X; //Произведение простых чисел.
    }
    if (soversh(X)) //X — совершенное число.
    {
        ks++; //Счетчик совершенных чисел.
        S+=X; //Сумма совершенных чисел.
    }
}
if (kp>0) //Если счетчик простых чисел больше нуля,
        //считаем среднее геометрическое и выводим его,
    cout<<"Geometric mean="<<pow(P,(float) 1/kp)<<endl;
else //в противном случае — сообщение об отсутствии простых
    чисел.
    cout<<"No prime numbers \n";
if (ks>0) //Если счетчик совершенных чисел больше нуля,
        //считаем среднее арифметическое и выводим его,
    cout<<"Arithmetical mean="<<(float) S/ks<<endl;
else //в противном случае — сообщение об отсутствии совершенных
    чисел.
    cout<<"No perfect numbers \n";
return 0;
}

```

Задача 4.2. Вводится последовательность целых чисел, 0 — конец последовательности. Найти минимальное число среди простых чисел и максимальное, среди чисел, не являющихся простыми.

Для решения данной задачи создадим функцию `prostoe`, которая будет проверять, является ли число N простым. Входным параметром функции будет целое положительное число N . Функция будет возвращать значение 1, если число простое и 0 — в противном случае. Алгоритм поиска максимума (минимума) подробно описан в задаче 3.19 (рис. 3.31).

Текст программы:

```

#include <iostream>
using namespace std;
unsigned int prostoe(unsigned int N)
{
    int i, pr;
    for (pr=1,i=2;i<=N/2;i++)
        if (N%i==0) {pr=0;break;}
    return pr;
}

```

```

}
int main()
{
    int kp=0,knp=0,min,max,N;
    for (cout << "N=", cin>>N; N!=0; cout<<"N=", cin>>N)
        //В цикле вводится элемент последовательности N.
        if (prostoe(N)) //N — простое число,
        {
            kp++; //счетчик простых чисел.
            if (kp==1) min=N; //Предполагаем, что первое
                               //простое число минимально,
            else if (N<min) min=N; //если найдется меньшее
                               //число, сохраняем его.
        }
        else //N — простым не является,
        {
            knp++; //счетчик чисел не являющихся простыми.
            if (knp==1) max=N; //Предполагаем, что первое
                               //не простое число максимально,
            else if (N>max) max=N; //если найдется большее число,
                               //сохраняем его.
        }
        if (kp>0) //Если счетчик простых чисел больше нуля,
            cout << "min= " << min << "\n"; //выводим значение минимального
            //простого числа,
        else //в противном случае —
            cout << "Net prostih"; //сообщение об отсутствии простых чисел.
            if (knp>0) //Если счетчик чисел не являющихся простыми больше
                нуля,
                cout << "max=" << max << endl; //выводим значение максимального
                //числа,
            else //в противном случае —
                cout << "Net ne prostih"; //сообщение об отсутствии чисел
                //не являющихся простыми.
    return 0;
}

```

Задача 4.3. Вводится последовательность из N целых положительных чисел. В каждом числе найти наименьшую и наибольшую цифры³.

Программный код к задаче 4.3.

```

#include <iostream>
using namespace std;
unsigned int Cmax(unsigned long long int P)
{
    unsigned int max;
    if (P==0) max=0;

```

³Выделение цифры из числа подробно описано в задаче 3.16

```

    for (int i=1 ; P!=0;P/=10)
    {
        if (i==1) {max=P%10;i++;}
        if (P%10>max) max=P%10;
    }
    return max;
}
unsigned int Cmin(unsigned long long int P)
{
    unsigned int min;
    if (P==0) min=0;
    for (int i=1; P!=0;P/=10)
    {
        if (i==1) {min=P%10;i++;}
        if (P%10<min) min=P%10;
    }
    return min;
}
int main()
{
    unsigned int N, k;
    unsigned long long int X;
    for (cout<<"N=",cin>>N,k=1;k<=N;k++)
    {
        cout<<"X=";cin>>X;
        cout<<"Максимальная цифра="<<Cmax(X);
        cout<<" Минимальная цифра="<<Cmin(X)<<endl;
    }
    return 0;
}

```

Задача 4.4. Вводится последовательность целых положительных чисел, 0 — конец последовательности. Определить сколько в последовательности чисел — палиндромов⁴.

Алгоритм определения палиндрома подробно описан в задаче 3.18. Далее приведен программный код к задаче 4.4

```

#include <iostream>
using namespace std;
bool palindrom(unsigned long long int N)
{//Функция определяет является ли число N палиндромом,
//возвращает true, если N — палиндром,
//и false, в противном случае
    unsigned long long int M,R,S;
    int kol, i;
    for (R=1,kol=1,M=N;M/10>0; kol++,R*=10,M/=10);

```

⁴Палиндром — любой симметричный относительно своей середины набор символов.


```

for (S=0,M=N, i=1; i<=kol; S+=M%10*R,M/=10,R/=10, i++);
    if (N==S) return true;
    else return false;
}
int main()
{ unsigned long long int X;
  int K;
  for (K=0, cout<<"X=", cin>>X; X!=0; cout<<"X=", cin>>X)
    if (palindrom(X)) K++;
    cout<<"Количество палиндромов равно K="<<K<<endl;
  return 0;
}

```

Задача 4.5. Заданы два числа — X в двоичной системе счисления, Y в системе счисления с основанием пять. Найти сумму этих чисел. Результат вывести в десятичной системе счисления.

Любое целое число N , заданное в b -ичной системе счисления, можно записать в виде:

$$N = P_n \cdot b^n + P_{n-1} \cdot b^{n-1} + \dots + P_2 \cdot b^2 + P_1 \cdot b + P_0 = \sum_{i=0}^n P_i \cdot b^i,$$

где b — *основание системы счисления* (целое положительное фиксированное число), P_i — *разряд числа*: $0 \leq P_i \leq b-1, i = 0, 1, 2, \dots, n$.

Например, $743_{10} = 7 \cdot 10^2 + 4 \cdot 10^1 + 3 \cdot 10^0 = 700 + 40 + 3 = 743_{10}$
 $1011101_2 = 1 \cdot 2^6 + 0 \cdot 2^5 + 1 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 64 + 16 + 8 + 4 + 1 = 93_{10}$

Создадим функцию для перевода целого числа N заданного в b -ичной системе счисления в десятичную систему счисления.

```

#include <iostream>
using namespace std;
unsigned long long int DecNC(unsigned long long int N,
    unsigned int b)
{
    //Функция выполняет перевод числа N, заданного в b-ичной
    //системе счисления, в десятичную систему счисления
    unsigned long long int S,P;
    //for (S=0,P=1, i=1;N/10>0;S+=N%10*P,P*=b,N/=10);
    for (S=0,P=1;N!=0;S+=N%10*P,P*=b,N/=10);
    return S;
}
int main()
{
    unsigned long long int X,Y; unsigned int bX,bY;
    cout<<"X="; cin>>X; //Ввод числа X.
    cout<<"b="; cin>>bX; //Ввод основания c/b.
}

```

```

cout<<"Y="; cin>>Y; //Ввод числа X.
cout<<"b="; cin>>bY; //Ввод основания с/с.
//Вывод заданных чисел в десятичной с/с.
cout<<X<<"("<<bX<<")="<<DecNC(X, bX)<<"(10)"<<endl;
cout<<Y<<"("<<bY<<")="<<DecNC(Y, bY)<<"(10)"<<endl;
//Вычисление суммы и вывод результата.
cout<<X<<"("<<bX<<")+ "<<Y<<"("<<bY<<")=";
cout<<DecNC(X, bX)+DecNC(Y, bY)<<"(10)"<<endl;
return 0;
}

```

Задача 4.6. Задано число X в десятичной системе счисления. Выполнить перевод числа в системы счисления с основанием 2, 5 и 7.

Вообще, для того чтобы перевести целое число из одной системы счисления в другую необходимо выполнить следующие действия:

1. поделить данное число на основание новой системы счисления;
2. перевести остаток от деления в новую систему счисления; получается младший разряд нового числа;
3. если частное от деления больше основания новой системы, продолжать деление, как указано в п.1; новый остаток, переведенный в новую систему счисления, дает второй разряд числа и т. д.

На рис. 4.1 Приведен пример перевода числа 256 заданного в десятичной системе счисления в восьмеричную. В результате получим, $256_{(10)} = 400_{(8)}$.

$$\begin{array}{r|l}
 256 & 8 \\
 \hline
 256 & 32 & 8 \\
 \hline
 0 & 32 & 4 \\
 & \hline
 & 0
 \end{array}$$

Рис. 4.1. Пример перевода числа в новую систему счисления

Далее приведен текст программы, реализующей решение задачи 4.6.

```

#include <iostream>
using namespace std;
unsigned long long int NC(unsigned long long int N, unsigned
    int b)

```

```

{
    unsigned long long int S,P;
    for (S=0,P=1;N!=0;S+=N%b*P,P*=10,N/=b) ;
    return S;
}
int main()
{
    unsigned long long int X;
    cout<<"X=";cin>>X;    //Ввод числа X.
    //Перевод числа X в заданные системы счисления.
    cout<<X<<" (10) ="<<NC(X,2)<<" (2) "<<endl;
    cout<<X<<" (10) ="<<NC(X,5)<<" (5) "<<endl;
    cout<<X<<" (10) ="<<NC(X,7)<<" (7) "<<endl;
    return 0;
}

```

Задача 4.7. Найти корни уравнения $x^2 - \cos(5 \cdot x) = 0$.

Для решения задачи использовать:

1. *метод половинного деления*,
2. *метод хорд*,
3. *метод касательных* (метод Ньютона),
4. *метод простой итерации*.

Оценить степень точности предложенных *численных методов*, определив за сколько итераций был найден корень уравнения. Вычисления проводить с точностью $\varepsilon = 10^{-3}$.

Вообще говоря, *аналитическое решение уравнения*

$$f(x) = 0 \quad (4.1)$$

можно найти только для узкого класса функций. В большинстве случаев приходится решать уравнение (4.1) *численными методами*. Численное решение уравнения (4.1) проводят в два этапа: сначала необходимо *отделить корни уравнения*, т.е. найти достаточно тесные промежутки, в которых содержится только один корень, эти промежутки называют *интервалами изоляции корня*; на втором этапе проводят уточнение отделенных корней, т.е. *находят корни с заданной точностью*.

Интервал можно выделить, изобразив график функции, или каким-либо другим способом. Но все способы основаны на следующем свойстве непрерывной функции: если функция $f(x)$ непрерывна на интервале $[a, b]$ и на его концах имеет различные знаки, $f(a) \cdot f(b) < 0$, то между точками имеется хотя бы один корень. Будем считать интервал настолько малым, что в нем находится только один корень. Рассмотрим самый простой способ уточнения корней.

Графическое решение задачи 4.7 показано на рис. 4.2. Так как функция $f(x) = x^2 - \cos(5 \cdot x)$ дважды пересекает ось абсцисс, можно сделать вывод о наличии в уравнении $x^2 - \cos(5 \cdot x) = 0$ двух корней. Первый находится на интервале $[-0.4; -0.2]$, второй принадлежит отрезку $[0.2; 0.4]$.

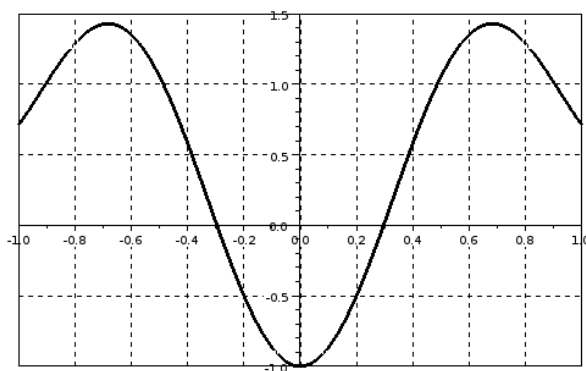


Рис. 4.2. Геометрическое решение задачи 4.7

Рассмотрим, предложенные в задаче *численные методы* решения нелинейных уравнений.

Метод половинного деления (дихотомии). Пусть был выбран интервал изоляции $[a, b]$ (рис. 4.3). Примем за первое приближение корня точку c , которая является серединой отрезка $[a, b]$. Далее будем действовать по следующему алгоритму:

1. Находим точку $c = \frac{a+b}{2}$;
2. Находим значение $f(c)$;
3. Если $f(a) \cdot f(c) < 0$, то корень лежит на интервале $[a, c]$, иначе корень лежит на интервале $[c, b]$;
4. Если величина интервала меньше либо равна ε , то найден корень с точностью ε , иначе возвращаемся к п.1.

Итак, для вычисления одного из корней уравнения $x^2 - \cos(5 \cdot x) = 0$ методом половинного деления достаточно знать интервал изоляции корня $a = 0.2; b = 0.4$ и точность вычисления $\varepsilon = 10^{-3}$.

Блок-схема алгоритма решения уравнения методом дихотомии приведена на рис. 4.4. Понятно, что здесь c — корень заданного уравнения.

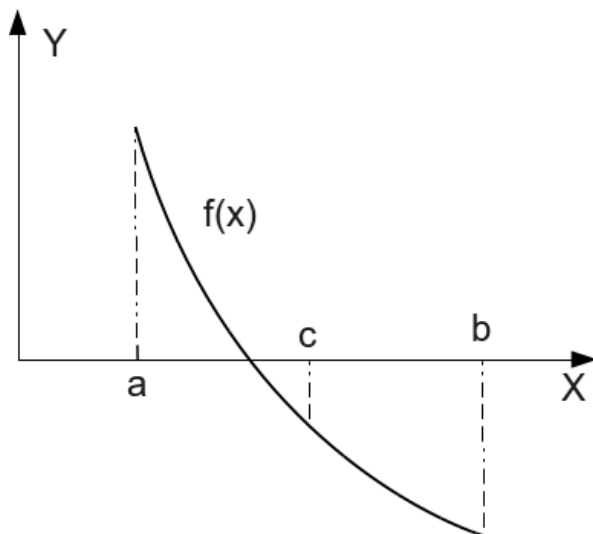


Рис. 4.3. Графическая интерпретация метода половинного деления

Однако, несмотря на простоту, такое последовательное сужение интервала проводится редко, так как требует слишком большого количества вычислений. Кроме того, этот способ не всегда позволяет найти решение с заданной точностью. Рассмотрим другие способы уточнения корня. При применении этих способов будем требовать, чтобы функция $f(x)$ удовлетворяла следующим условиям на интервале $[a, b]$:

1. функция $f(x)$ непрерывна вместе со своими производными первого и второго порядка. Функция $f(x)$ на концах интервала $[a, b]$ имела разные знаки $f(a) \cdot f(b) < 0$;
2. первая и вторая производные $f'(x)$ и $f''(x)$ сохраняют определённый знак на всем интервале $[a, b]$.

Метод хорд. Этот метод отличается от метода дихотомии тем, что очередное приближение берем не в середине отрезка, а в точке пересечения с осью X (рис. 4.5) прямой, соединяющей точки $(a, f(a))$ и $(b, f(b))$.

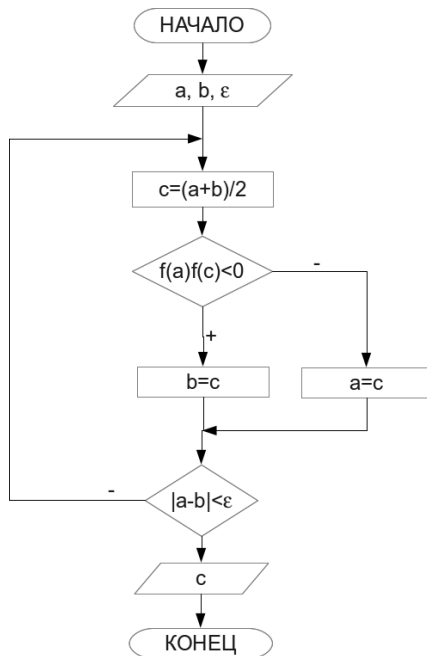


Рис. 4.4. Алгоритм решения уравнения методом дихотомии

Запишем уравнение прямой, проходящей через точки с координатами $(a, f(a))$ и $(b, f(b))$:

$$\frac{y - f(a)}{f(b) - f(a)} = \frac{x - a}{b - a}, \quad y = \frac{f(b) - f(a)}{b - a} \cdot (x - a) + f(a) \quad (4.2)$$

Прямая, заданная уравнением (4.2), пересекает ось X при условии $y = 0$.

Найдем точку пересечения хорды с осью X :

$$y = \frac{f(b) - f(a)}{b - a} \cdot (x - a) + f(a), \quad x = a - \frac{f(a) \cdot (b - a)}{f(b) - f(a)},$$

$$\text{итак, } c = a - \frac{f(a)}{f(b) - f(a)}(b - a).$$

Далее необходимо вычислить значение функции в точке c . Это и будет приближенное значение корня уравнения.

Для вычисления одного из корней уравнения $x^2 - \cos(5 \cdot x) = 0$ методом хорд достаточно знать интервал изоляции корня, например,

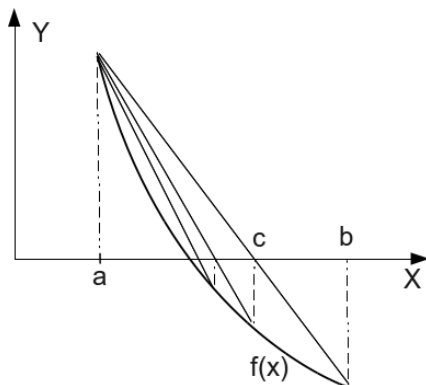


Рис. 4.5. Графическая интерпретация метода хорд

$a = 0.2$; $b = 0.4$ и точность вычисления $\varepsilon = 10^{-3}$. Блок-схема метода представлена на рис. 4.6.

Метод касательных (метод Ньютона). В одной из точек интервала $[a; b]$, пусть это будет точка a , проведем касательную (рис. 4.7). Запишем уравнение этой прямой:

$$y = k \cdot x + m \quad (4.3)$$

Так как эта прямая является касательной, и она проходит через точку $(c, f(c))$, то $k = f'(c)$.

Следовательно,

$$y = f'(c) \cdot x + m, f(c) = f'(c) \cdot c + m, m = f(c) - c \cdot f'(c),$$

$$y = f'(c) \cdot x + f(c) - c \cdot f'(c), y = f'(c) \cdot (x - c) + f(c).$$

Найдем точку пересечения касательной с осью X :

$$f'(c) \cdot (x - c) + f(c) = 0, \quad x = c - \frac{f(c)}{f'(c)}$$

Если $|f(x)| < \varepsilon$, то точность достигнута, и точка x — решение; иначе необходимо переменной c присвоить значение x и провести касательную через новую точку c ; так продолжать до тех пор, пока $|f(x)|$ не станет меньше ε . Осталось решить вопрос, что выбрать в качестве точки начального приближения c .

В этой точке должны совпадать знаки функции и ее второй производной. А так как нами было сделано допущение, что вторая и первая производные не меняют знак, то можно проверить условие

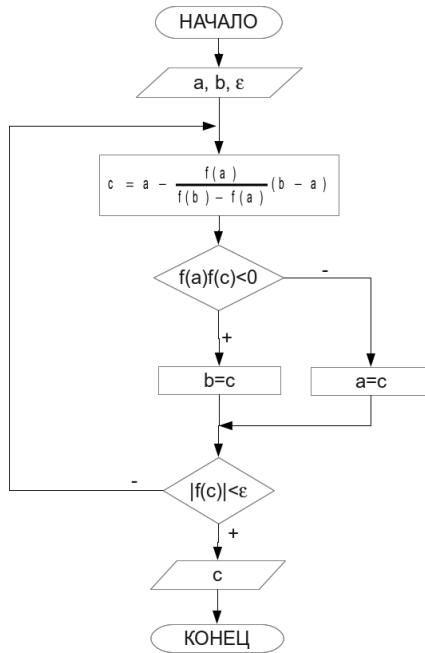


Рис. 4.6. Алгоритм метода хорд

$f(x) \cdot f''(x) > 0$ на обоих концах интервала и в качестве начального приближения взять ту точку, где это условие выполняется.

Здесь, как и в предыдущих методах, для вычисления одного из корней уравнения $x^2 - \cos(5 \cdot x) = 0$ достаточно знать интервал изоляции корня, например, $a = 0.2$; $b = 0.4$ и точность вычисления $\varepsilon = 10^{-3}$. Блок-схема метода Ньютона представлена на рис. 4.8. Понятно, что для реализации этого алгоритма нужно найти первую и вторую производные функции $f(x) = x^2 - \cos(5 \cdot x)$: $f'(x) = 2 \cdot x + 5 \cdot \sin(5 \cdot x)$, $f(x) = 2 + 25 \cdot \cos(5 \cdot x)$.

Метод простой итерации. Для решения уравнения этим методом необходимо записать уравнение (4.1) в виде $x = \phi(x)$, задать начальное приближение $x_0 \in [a; b]$ и организовать следующий итерационный вычислительный процесс

$$x_{k+1} = \phi(x_k), k = 0, 1, 2, \dots$$

Вычисление прекратить, если $|x_{k+1} - x_k| < \varepsilon$ (ε — точность).

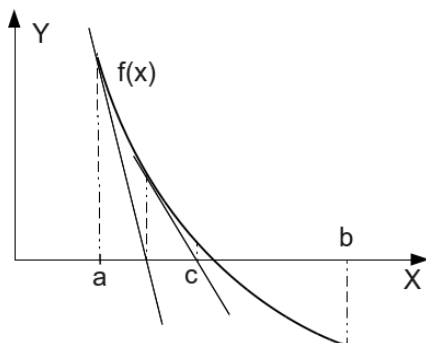


Рис. 4.7. Графическая интерпретация метода касательных

Если неравенство $|\phi'(x)| < 1$ выполняется на всем интервале $[a; b]$, то последовательность $x_0, x_1, x_2, \dots, x_n, \dots$ сходится к решению x^* (т.е. $\lim_{k \rightarrow \infty} x_k = x^*$).

Значение функции $\phi(x)$ должно удовлетворять условию $|\phi'(x)| < 1$ для того, чтобы можно было применить метод простых итераций. Условие $|\phi'(x)| < 1$ является *достаточным условием сходимости* метода простой итерации.

Уравнение (4.1) можно привести к виду $x = \phi(x)$ следующим образом. Умножить обе части уравнения $f(x) = 0$ на число λ . К обеим частям уравнения $\lambda \cdot f(x) = 0$ добавить число x . Получим $x = x + \lambda \cdot f(x)$. Это и есть уравнение вида $x = \phi(x)$, где

$$\phi(x) = x + \lambda \cdot f(x) \quad (4.4)$$

Необходимо чтобы неравенство $|\phi'(x)| < 1$ выполнялось на интервале $[a; b]$, следовательно, $|\phi'(x)| = |1 + \lambda \cdot f'(x)|$ и $|1 + \lambda \cdot f'(x)| < 1$ ($|1 + \lambda \cdot f'(a)| < 1$, $|1 + \lambda \cdot f'(b)| < 1$), а значит, с помощью *подбора параметра* λ можно добиться выполнения *условия сходимости*.

Для вычисления корней уравнения $x^2 - \cos(5 \cdot x) = 0$ воспользуемся графическим решением (рис. 4.2) и определим интервал изоляции одного из корней, например, $a = 0.2; b = 0.4$. Подберем значение λ решив неравенство $|1 + \lambda \cdot f'(x)| < 1$:

$$|1 + \lambda \cdot f'(a)| < 1 \text{ и } |1 + \lambda \cdot f'(b)| < 1,$$

$$f(x) = x^2 - \cos(5 \cdot x), f'(x) = 2 \cdot x + 5 \cdot \sin(5 \cdot x),$$

$$f'(a) = 2 \cdot 0.2 + 5 \cdot \sin(5 \cdot 0.2) \approx 4.6, f'(b) = 2 \cdot 0.4 + 5 \cdot \sin(5 \cdot 0.4) \approx 5.35,$$

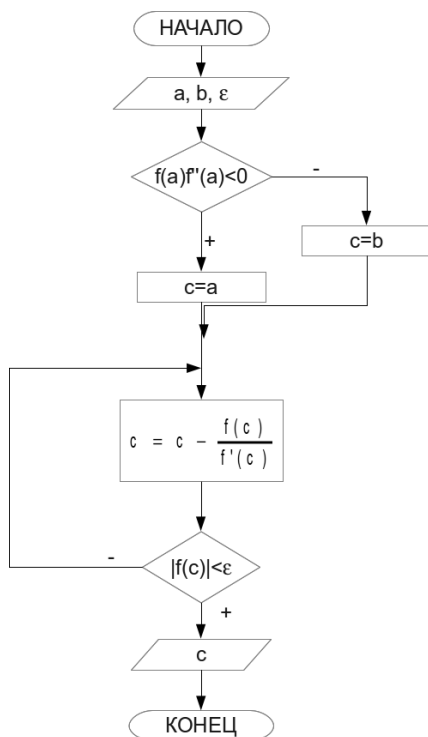


Рис. 4.8. Алгоритм метода Ньютона

$$|1 + \lambda \cdot 4.6| < 1 \text{ и } |1 + \lambda \cdot 5.35| < 1.$$

$$\left\{ \begin{cases} 1 + 4.6 \cdot \lambda < 1 \\ 1 + 4.6 \cdot \lambda > -1 \\ \lambda < 0 \\ \lambda > -0.37 \end{cases} \right. \Rightarrow \left\{ \begin{cases} \lambda < 0 \\ \lambda > -0.4 \\ \lambda < 0 \\ \lambda > -0.37 \end{cases} \right. \Rightarrow \begin{cases} \lambda \in (-0.4; 0) \\ \lambda \in (-0.37; 0) \end{cases}$$

и, следовательно, $\lambda \in (-0.37; 0)$.

Таким образом, исходными данными для программы будут начальное значение корня уравнения $x_0 = 0.2$, значение параметра λ (пусть $\lambda = -0.2$), и точность вычислений $\epsilon = 0.001$.

Для вычисления второго корня заданного уравнения параметр λ подбирают аналогично.

Блок-схема метода простой итерации приведена на рис. 4.9.

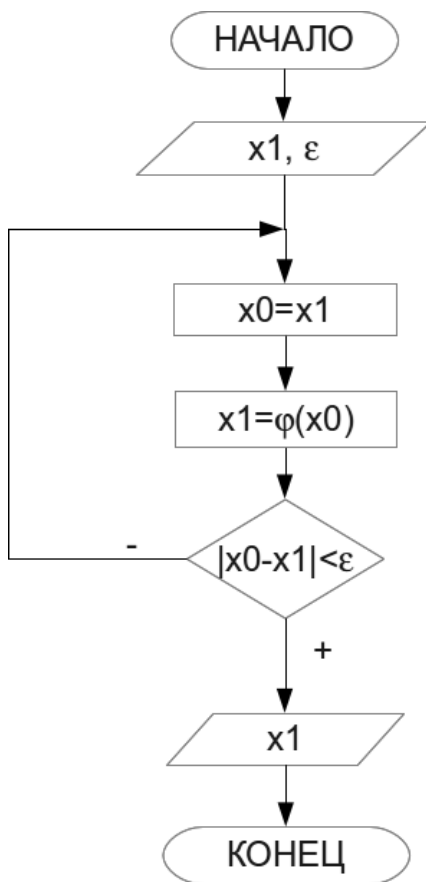


Рис. 4.9. Алгоритм метода простой итерации

Далее представлен текст программы, реализующий решение задачи 4.7.

```
#include <iostream>
#include <math.h>
using namespace std;
```

```

//Функция, определяющая левую часть уравнения  $f(x) = 0$ .
double f(double x)
{
    return (x*x-cos(5*x));
}
//Функция, реализующая метод половинного деления.
int Dichotomy(double a, double b, double *c, double eps)
{int k=0;
  do
  {
      *c=(a+b)/2;
      if (f(*c)*f(a)<0) b=*c;
      else a=*c;
      k++;
  }
  while (fabs(a-b)>=eps);
  return k;
}
//Функция, реализующая метод хорд.
int Chord(double a, double b, double *c, double eps)
{int k=0;
  do
  {
      *c=a-f(a)/(f(b)-f(a))*(b-a);
      if (f(*c)*f(a)>0) a=*c;
      else b=*c;
      k++;
  }
  while (fabs(f(*c))>=eps);
  return k;
}
double f1(double x) //Первая производная функции  $f(x)$ .
{
    return (2*x+5*sin(5*x));
}
double f2(double x) //Вторая производная функции  $f(x)$ .
{
    return (2+25*cos(5*x));
}
//Функция, реализующая метод касательных.
int Tangent(double a, double b, double *c, double eps)
{int k=0;
  if (f(a)*f2(a)>0) *c=a;
  else *c=b;
  do
  {
      *c=*c-f(*c)/f1(*c);
      k++;
  }
  while (fabs(f(*c))>=eps);
}

```

```

    return k;
}
double fi(double x, double L) //Функция, заданная выражением 4.4.
{
    return(x+L*f(x));
}
//Функция, реализующая метод простой итерации.
int Iteration(double *x, double L, double eps)
{int k=0; double x0;
  do
  {
      x0=*x;
      *x=fi(x0,L);
      k++;
  }
  while (fabs(x0-*x)>=eps);
  return k;
}
int main()
{
    double A, B, X, P;
    double ep=0.001; //Точность вычислений.
    int K;
    cout<<"a="; cin>>A; //Интервал изоляции корня.
    cout<<"b="; cin>>B;
    cout<<"Решение уравнения  $x^2 - \cos(5*x) = 0$ ."<<endl;
    cout<<"Метод дихотомии:"<<endl;
    K=Dichotomy(A,B,&X,ep);
    cout<<"Найденное решение x="<<X;
    cout<<", количество итераций k="<<K<<endl;
    cout<<"Метод хорд:"<<endl;
    K=Chord(A,B,&X,ep);
    cout<<" Найденное решение x="<<X;
    cout<<", количество итераций k="<<K<<endl;
    cout<<"Метод касательных:"<<endl;
    K=Tangent(A,B,&X,ep);
    cout<<" Найденное решение x="<<X;
    cout<<", количество итераций k="<<K<<endl;
    cout<<"Метод простой итерации:"<<endl;
    X=A;
    cout<<"L="; cin>>P;
    K=Iteration(&X,P,ep);
    cout<<" Найденное решение x="<<X;
    cout<<", количество итераций k="<<K<<endl;
    return 0;
}

```

Результаты работы программы:

a=0.2

b=0.4

Решение уравнения $x^2 - \cos(5x) = 0$.

Метод дихотомии:

Найденное решение $x=0.296094$, количество итераций $k=8$

Метод хорд:

Найденное решение $x=0.296546$, количество итераций $k=2$

Метод касательных:

Найденное решение $x=0.296556$, количество итераций $k=2$

Метод простой итерации:

L=-0.2

Найденное решение $x=0.296595$, количество итераций $k=3$

4.5 Рекурсивные функции

Под *рекурсией* в программировании понимают функцию, которая вызывает сама себя. *Рекурсивные функции* чаще всего используют для компактной реализации рекурсивных алгоритмов. Классическими рекурсивными алгоритмами могут быть возведение числа в целую положительную степень, вычисление факториала. С другой стороны любой рекурсивный алгоритм можно реализовать без применения рекурсий. Достоинством рекурсии является компактная запись, а недостатком расход памяти на повторные вызовы функций и передачу параметров, существует опасность переполнения памяти.

Рассмотрим применение рекурсии на примерах [7, 8].

Задача 4.8. Вычислить факториал числа n .

Вычисление факториала подробно рассмотрено в задаче 3.11 (рис. 3.25). Для решения этой задачи с применением рекурсии создадим функцию **factoial**, алгоритм которой представлен на рис. 4.10.

Текст программы с применением рекурсии:

```
#include <iostream>
using namespace std;
long int factoial(int n)
{
    if (n<=1)
        return(n);
    else
        return(n*factoial(n-1));
}
int main()
{
    int i; long int f;
    cout<<"i="; cin>>i;
    f=factoial(i);
```

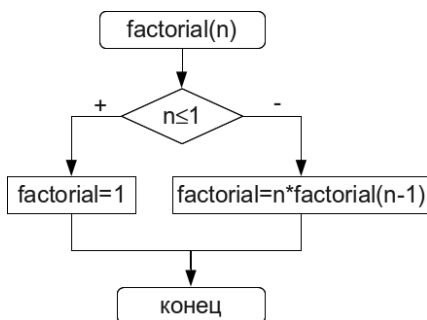


Рис. 4.10. Рекурсивный алгоритм вычисления факториала

```

cout << i << " != " << f << "\n";
return 0;
}

```

Задача 4.9. Вычислить n -ю степень числа a (n — целое число).

Результатом возведения числа a в целую степень n является умножение этого числа на себя n раз. Но это утверждение верно, только для положительных значений n . Если n принимает отрицательные значения, то $a^{-n} = \frac{1}{a^n}$. В случае $n = 0$, $a^0 = 1$.

Для решения задачи создадим рекурсивную функцию `stepen`, алгоритм которой представлен на рис. 4.11.

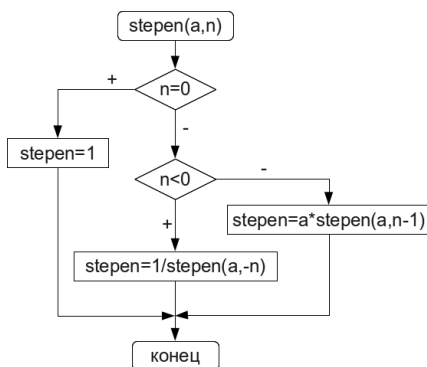


Рис. 4.11. Рекурсивный алгоритм вычисления степени числа

Текст программы с применением рекурсии:

```
#include <iostream>
using namespace std;
float stepen(float a, int n)
{
    if (n==0)
        return(1);
    else if (n<0)
        return(1/stepen(a,-n));
    else
        return(a*stepen(a,n-1));
}
int main()
{
    int i; float s,b;
    cout<<"b="; cin>>b;
    cout<<"i="; cin>>i;
    s=stepen(b,i);
    cout<<"s="<<s<<"\n";
    return 0;
}
```

Задача 4.10. Вычислить n -е число Фибоначчи.

Если нулевой элемент последовательности равен нулю, первый — единице, а каждый последующий представляет собой сумму двух предыдущих, то это *последовательность чисел Фибоначчи* (0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, ...).

Алгоритм рекурсивной функции `fibonacci` изображен на рис. 4.12.

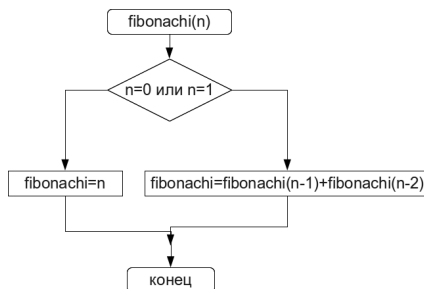


Рис. 4.12. Рекурсивный алгоритм вычисления числа Фибоначчи

Текст программы:


```
#include <iostream>
using namespace std;
long int fibonacci(unsigned int n)
{
    if ((n==0) || (n==1))
        return(n);
    else
        return(fibonacci(n-1)+fibonacci(n-2));
}
int main()
{
    int i; long int f;
    cout<<"i="; cin>>i;
    f=fibonacci(i);
    cout<<"f="<<f<<"\n";
    return 0;
}
```

4.6 Перегрузка функций

Язык C++ позволяет связать с одним и тем же именем функции различные определения, то есть возможно существование нескольких функций с одинаковым именем. У этих функций может быть разное количество параметров или разные типы параметров. Создание двух или более функций с одним и тем же именем называется *перегрузкой имени функции*. Перегруженные функции создают, когда одно и то же действие следует выполнить над разными типами входных данных.

В приведённом далее тексте программы три функции с именем Pow. Первая выполняет операцию возведения вещественного числа a в дробную степень $n = \frac{k}{m}$, где k и m — целые числа. Вторая возводит вещественное число a в целую степень n , а третья — целое число a в целую степень⁵ n . Какую именно функцию вызвать компилятор определяет по типу фактических параметров. Так, если a — вещественное число, а k — целое, то оператор Pow(a, k) вызовет вторую функцию, так как она имеет заголовок float Pow(float a , int n). Команда Pow((int) a, k) приведет к вызову третьей функции float Pow(int a , int n), так как вещественная переменная a преобразована к целому типу. Первая функция float Pow(float a , int k , int

⁵Как известно операция a^n не определена при $a = 0$ и $n = 0$, а так же при возведении отрицательного значения a в дробную степень $n = \frac{k}{m}$, где m — четное число (п. 2.7). Пусть наши функции в этих случаях возвращают 0.

m) имеет три параметра, значит, обращение к ней осуществляется командой `Pow(a,k,m)`.

```
#include <iostream>
using namespace std;
#include <math.h>
float Pow(float a, int k, int m) //Первая функция
{
    cout<<"Функция 1 \t";
    if (a==0)
        return 0;
    else if (k==0)
        return 1;
    else if (a>0)
        return exp((float)k/m*log(a));
    else if (m%2!=0)
        return -(exp((float)k/m*log(-a)));
}
float Pow(float a, int n) //Вторая функция
{
    float p; int i;
    cout<<"Функция 2 \t";
    if (a==0)
        return 0;
    else if (n==0)
        return 1;
    else if (n<0)
    {
        n=-n;
        p=1;
        for (i=1;i<=n;i++)
            p*=a;
        return (float)1/p;
    }
    else
    {
        p=1;
        for (i=1;i<=n;i++)
            p*=a;
        return p;
    }
}
float Pow(int a, int n) //Третья функция
{
    int i, p;
    cout<<"Функция 3 \t";
    if (a==0)
        return 0;
    else if (n==0)
        return 1;
```

```

    else if (n<0)
    {
        n=-n;
        p=1;
        for (i=1;i<=n;i++)
            p*=a;
        return (float)1/p;
    }
    else
    {
        p=1;
        for (i=1;i<=n;i++)
            p*=a;
        return p;
    }
}
int main()
{
    float a; int k,n,m;
    cout<<"a="; cin>>a;
    cout<<"k="; cin>>k;
    cout<<"s="<<Pow(a,k)<<"\n"; //Вызов 2-й функции.
    cout<<"s="<<Pow((int)a,k)<<"\n"; //Вызов 3-й функции.
    cout<<"a="; cin>>a;
    cout<<"k="; cin>>k;
    cout<<"m="; cin>>m;
    cout<<"s="<<Pow(a,k,m)<<endl; //Вызов 1-й функции.
    return 0;
}

```

Результаты работы программы

```

a=5.2
k=3
Функция 2 s=140.608
Функция 3 s=125
a=-8
k=1
m=1
Функция 1 s=-8

a=5.2
k=-3
Функция 2 s=0.00711197
Функция 3 s=0.008
a=-8
k=1
m=3

```

Функция 1 s=-2

4.7 Шаблоны функций

Шаблон — это особый вид функции. С помощью шаблона функции можно определить алгоритм, который будет применяться к данным различных типов. Механизм работы шаблона заключается в том, что на этапе компиляции конкретный тип данных передаётся в функцию в виде параметра.

Простейшую функцию-шаблон в общем виде можно записать так [6]:

```
template <class Type> \Sys{заголовок}
{
    тело функции
}
```

Обычно в угловых скобках указывают список используемых в функции типов данных. Каждый тип предваряется служебным словом **class**. В общем случае в списке могут быть не только типы данных, но и имена переменных.

Рассмотрим пример шаблона поиска наименьшего из четырех чисел.

```
#include <iostream>
using namespace std;
//Определяем абстрактный тип данных с помощью служебного слова Type.
template <class Type>
Type minimum(Type a, Type b, Type c, Type d)
{ //Определяем функцию с использованием типа данных Type.
    Type min=a;
    if (b<min) min=b;
    if (c<min) min=c;
    if (d<min) min=d;
    return min;
}
int main()
{
    int ia,ib,ic,id,mini; float ra,rb,rc,rd,minr;
    cout<<"Vvod 4 thelih chisla\t";
    cin>>ia>>ib>>ic>>id;
    mini=minimum(ia,ib,ic,id); //Вызов функции minimum,
                                //в которую передаем 4 целых значения.
    cout<<"\n"<<mini<<"\n";
    cout<<"Vvod 4 vecshestvenih chisla\t"; cin>>ra>>rb>>rc>>rd;
    minr=minimum(ra,rb,rc,rd); //Вызов функции minimum,
                                //в которую передаем 4 вещественных значения.
```

```

    cout<<"\n"<<minr<<"\n";
    return 0;
}

```

4.8 Область видимости переменных в функциях

Как известно (п. 2.8), по месту объявления переменные в языке C++ делятся на три класса: локальные, глобальные и переменные, описанные в списке формальных параметров функций. Все эти переменные имеют разную область видимости.

Локальные переменные объявляются внутри функции и доступны только в ней. О таких переменных говорят, что они имеют локальную видимость, то есть, видимы только внутри функции.

Глобальные переменные описывают вне всех функций. Поскольку они доступны из любой точки программы, то их область видимости охватывает весь файл.

Одно и то же имя может использоваться при определении глобальной и локальной переменной. В этом случае в теле функции локальная переменная имеет преимущество и «закрывает» собой глобальную. Вне этой функции «работает» глобальное описание переменной.

Из функции, где действует локальное описание переменной можно обратиться к глобальной переменной с таким же именем, используя *оператор расширения области видимости*

```
::переменная;
```

Рассмотрим пример:

```

#include <iostream>
using namespace std;
float pr=100.678; //Переменная pr определена глобально.
int prostoe (int n)
{
    int pr=1,i; //Переменная pr определена локально.
    if (n<0) pr=0;
    else
        for (i=2;i<=n/2;i++)
            if (n%i==0){pr=0;break;}
    cout<<"local pr="<<pr<<"\n"; //Вывод локальной переменной.
    cout<<"global pr="<<::pr<<"\n"; //Вывод глобальной переменной.
    return pr;
}
int main()
{
    int g;
    cout<<"g="; cin>>g;
}

```

```

    if (prostoe(g)) cout<<"g - prostoe \n";
    else cout<<"g - ne prostoe \n";
    return 0;
}

```

Результаты работы программы:

```

g=7
local pr=1 //Локальная переменная.
global pr=100.678 //Глобальная переменная.
g - prostoe

```

4.9 Функция `main()`. Параметры командной строки

Итак, любая программа на C++ состоит из одной или нескольких функций, причем одна из них должна обязательно носить имя `main` (основной, *главный*). Именно это функции передается управление после запуска программы. Как любая функция, `main` может принимать параметры и возвращать значения. У функции `main` две формы записи:

- без параметров: тип `main()` {тело функции},
- и с двумя параметрами: тип `main(int argc, char *argv[])` {тело функции}.

Первый параметр `argc` определяет количество параметров, передаваемых в функцию `main` из командной строки. Второй параметр `argv` — указатель на массив указателей типа `char` (массив строк). Каждый элемент массива ссылается на отдельный параметр командной строки. При стандартном запуске программы `argc` равно 1, `argv` — массив из одного элемента, этим элементом является — имя запускаемого файла.

Рассмотрим следующую программу.

```

#include <iostream>
#include <stdlib.h>
using namespace std;
int main(int argc, char *argv[])
{
    int i;
    cout<<"В командной строке "<<argc<<" аргументов\n";
    for (i=0; i<argc; i++)
        cout<<"Аргумент № "<<i<<" "<<argv[i]<<endl;
    return 0;
}

```

Текст программы хранится в файле `1.cpp`. При стандартном запуске программа выведет следующую информацию:

В командной строке 1 аргументов

Аргумент № 0 ./1

Программа выводит количество параметров командной строки и последовательно все параметры. При стандартном запуске – количество аргументов командной строки — 1, этим параметром является имя запускаемого файла (в нашем случае, имя запускаемого файла — `./1`).

Запустим программу следующим образом

`./1 abc 34 6 + 90 Вася Маша`

Результаты работы программы представлены ниже.

В командной строке 8 аргументов

Аргумент № 0 ./1

Аргумент № 1 abc

Аргумент № 2 34

Аргумент № 3 6

Аргумент № 4 +

Аргумент № 5 90

Аргумент № 6 Вася

Аргумент № 7 Маша

Рассмотрим приложение, в которое в качестве параметров командной строки передается `число1`, `операция`, `число2`. Функция выводит `число1 операция число2`.

Текст программы приведен на ниже⁶

```
#include <iostream>
#include <stdlib.h>
#include <cstring>
using namespace std;
int main(int argc, char **argv)
{
    //Если количество параметров больше или равно 4, то были
    //введены два числа и знак операции.
    if (argc >= 4)
    //Если операция *, то выводим число1*число2.
    {
```

⁶Функция `atof` преобразовывает строку символов в вещественное число, если преобразование невозможно, то результатом функции `atof` будет число 0.0. Функция `strcmp` сравнивает две строки и возвращает 0, в случае совпадения строк. Подробнее об этих функциях можно прочесть в главе, посвящённой строкам.

```

    if (!strcmp(argv[2], "*")) cout<<atof(argv[1])*atof(argv
        [3])<<endl;
    else
//Если операция +, то выводим число1+число2.
        if (!strcmp(argv[2], "+")) cout<<atof(argv[1])+atof(argv
            [3])<<endl;
        else
//Если операция -, то выводим число1-число2.
            if (!strcmp(argv[2], "-")) cout<<atof(argv[1])-atof(
                argv[3])<<endl;
            else
//Если операция /, то выводим число1/число2.
                if (!strcmp(argv[2], "/")) cout<<atof(argv[1])/atof(
                    argv[3])<<endl;
                else cout<<"неправильный знак операции"<<endl;
    }
    else
        cout<<"недостаточное количество операндов"<<endl;
    return 0;
}

```

Ниже приведены варианты запуска программы и результаты её работы⁷. Предлагаем читателю самостоятельно разобраться с результатами всех тестовых запусков приложения.

```

./4 1.3 + 7.8
9.1
./4 1.3 - 7.8
-6.5
./4 1.3 / 7.8
0.166667
./4 1.3 \* 7.8
10.14
./4 1.3 % 7.8
неправильный знак операции
./4 1.3+ 7.8
недостаточное количество операндов

```

4.10 Задачи для самостоятельного решения

4.10.1 Применение функций при работе с последовательностями чисел

Разработать программу на языке C++ для следующих заданий:

⁷Текст программы хранится в файле 4.cpp. Имя исполняемого файла ./4 (ОС Linux)

1. Вводится последовательность целых положительных чисел, 0 — конец последовательности. Для каждого элемента последовательности определить и вывести на экран число, которое получится после записи цифр исходного числа в обратном порядке.
2. Вводится последовательность целых чисел, 0 — конец последовательности. Определить содержит ли последовательность хотя бы одно *совершенное число*. Совершенное число равно сумме всех своих делителей, не превосходящих это число. Например, $6=1+2+3$ или $28=1+2+4+7+14$.
3. Вводится последовательность из N целых положительных элементов. Определить содержит ли последовательность хотя бы одно *простое число*. Простое число не имеет делителей, кроме единицы и самого себя.
4. Вводится последовательность из N целых положительных элементов. Посчитать количество чисел *палиндромов*. Числа палиндромы симметричны относительно своей середины, например, 12021 или 454.
5. Вводится последовательность из N целых положительных элементов. Подсчитать количество совершенных и простых чисел в последовательности.
6. Поступает последовательность целых положительных чисел, 0 — конец последовательности. Определить в каком из чисел больше всего делителей.
7. Поступает последовательность целых положительных чисел, 0 — конец последовательности. Определить в каком из чисел больше всего цифр.
8. Вводится последовательность из N целых положительных элементов. Проверить содержит ли последовательность хотя бы одну пару соседних *дружественных чисел*. Два различных натуральных числа являются дружественными, если сумма всех делителей первого числа (кроме самого числа) равна второму числу. Например, 220 и 284, 1184 и 1210, 2620 и 2924, 5020 и 5564..
9. Поступает последовательность целых положительных чисел, 0 — конец последовательности. Для элементов последовательности, находящихся в диапазоне от единицы до m вычислить и вывести на экран соответствующие *числа Фибоначчи*. Здесь m — целое положительное число, которое необходимо ввести.
10. Вводится последовательность из N целых положительных элементов. Найти число с минимальным количеством цифр.

11. Вводится последовательность из N целых элементов. Для всех положительных элементов последовательности вычислить значение *факториала*. Вывести на экран число и его факториал.
12. Поступает последовательность целых положительных чисел, 0 — конец последовательности. Вывести на экран все числа последовательности являющиеся *составными* и их делители. Составное число имеет более двух делителей, то есть не является *простым*.
13. Вводится последовательность из N целых положительных элементов. Определить содержит ли последовательность хотя бы одно *число Армстронга*. Число Армстронга — натуральное число, которое равно сумме своих цифр, возведенных в степень, равную количеству его цифр. Например, десятичное число 153 — число Армстронга, потому что: $1^3 + 3^3 + 5^3 = 1 + 27 + 125 = 153$.
14. Поступает последовательность целых положительных чисел, 0 — конец последовательности. Найти среднее арифметическое *простых* чисел в этой последовательности. Простое число не имеет делителей, кроме единицы и самого себя.
15. Вводится последовательность из N целых положительных элементов. Определить сколько в последовательности пар соседних *взаимно простых чисел*. Различные натуральные числа являются взаимно простыми, если их наибольший общий делитель равен единице.
16. В последовательности из N целых положительных элементов найти сумму всех *недостаточных чисел*. Недостаточное число всегда больше суммы всех своих делителей за исключением самого числа.
17. Вводится последовательность из N целых положительных элементов. Посчитать количество элементов последовательности, имеющих в своем представлении цифру 0.
18. Вводится N пар целых положительных чисел a и b . В случае, если $a > b$ вычислить: $C = \frac{a!}{b! \cdot (a-b)!}$.
19. Вводится последовательность из N целых элементов. Для каждого элемента последовательности найти среднее значение его цифр.
20. Вводится последовательность целых положительных чисел, 0 — конец последовательности. Для каждого элемента последовательности определить и вывести на экран число, которое получится, если поменять местами первую и последнюю цифры исходного числа.

21. Вводится последовательность из N целых элементов. Для каждого элемента последовательности вывести на экран количество цифр и количество делителей.
22. Вводится последовательность из N целых положительных элементов. Среди элементов последовательности найти наибольшее число — *палиндром*. Числа палиндромы симметричны относительно своей середины, например, 12021 или 454.
23. Поступает последовательность целых положительных чисел, 0 — конец последовательности. Для каждого элемента последовательности вывести на экран сумму квадратов его цифр.
24. Вводится последовательность из N целых положительных элементов. Для *простых* элементов последовательности определить сумму цифр. Простое число не имеет делителей, кроме единицы и самого себя.
25. Вводится последовательность целых положительных чисел, 0 — конец последовательности. Среди элементов последовательности найти наименьшее *составное число*. Составное число имеет более двух делителей, то есть не является *простым*.

4.10.2 Применение функций для вычислений в различных системах счисления

Разработать программу на языке C++ для решения следующей задачи. Заданы два числа — A и B , первое в системе счисления с основанием p , второе в системе счисления с основанием q . Вычислить значение C по указанной формуле и вывести его на экран в десятичной системе счисления и системе счисления с основанием r . Исходные данные для решения задачи представлены в табл. 4.1.

Таблица 4.1: Задания для решения задачи о различных системах

Вариант	p	q	C	r
1	2	8	$A^2 \cdot (A + B)$	3
2	3	7	$2 \cdot (A^2 + B^2)$	4
3	4	6	$2 \cdot B^2 \cdot (A + B)$	5
4	5	2	$(A - B)^2 + 3 \cdot A$	6
5	6	4	$A^2 + A \cdot B$	7
6	7	3	$(5 \cdot B - 2 \cdot A)^2$	8
7	8	2	$(2 \cdot A - 3 \cdot B)^2$	5

Таблица 4.1 — продолжение

Вариант	p	q	C	r
8	3	8	$(B - A)^2 + 2 \cdot A$	6
9	4	7	$B^3 - B^2 + 2 \cdot A$	2
10	5	6	$A^3 - A^2 + 3 \cdot B$	8
11	6	5	$(2 \cdot A - 3 \cdot B)^2$	3
12	7	4	$A^2 + 2 \cdot A + B^2$	5
13	8	3	$A^2 + 3 \cdot B + B^2$	7
14	4	2	$A^2 - 2 \cdot A + B$	6
15	5	8	$3 \cdot B^2 - 2 \cdot B + A$	3
16	6	7	$A^2 + (B - A)^2$	2
17	7	6	$3 \cdot B^2 + 2 \cdot A \cdot B$	8
18	8	5	$2 \cdot A^2 + 3 \cdot A \cdot B$	7
19	2	4	$B^3 - 2 \cdot B + A$	3
20	3	8	$A^3 - 2 \cdot A + B$	4
21	4	7	$(5 \cdot A - 2 \cdot B)^2$	5
22	5	6	$(B^2 - 3 \cdot A)^2$	7
23	6	5	$(A^2 - 2 \cdot B)^2$	8
24	7	4	$A^2 \cdot B^2 - A \cdot B$	6
25	8	3	$A \cdot B + A^2 - B$	2

4.10.3 Применение функций для решения нелинейных уравнений

Разработать программу на языке C++ для вычисления одного из корней уравнения $f(x) = 0$ методами, указанными в задании. Для решения задачи предварительно определить интервал изоляции корня графическим методом. Вычисления проводить с точностью $\varepsilon = 10^{-4}$. Оценить степень точности путем подсчета количества итераций, выполненных для достижения заданной точности. Исходные данные для решения задачи представлены в табл. 4.2.

Таблица 4.2: Задания к задаче о решении нелинейных уравнений

№	Уравнение $f(x) = 0$	Методы решения
1	$x - 0.2 \cdot \sin(x + 0.5) = 0$	метод половинного деления, метод хорд
2	$x^2 - \lg(x + 2) = 0$	метод касательных, метод простой итерации

Таблица 4.2 — продолжение

№	Уравнение $f(x) = 0$	Методы решения
3	$x^2 - 20 \cdot \sin(x) = 0$	метод хорд, метод касательных
4	$\ln(x) + (x + 1)^3 = 0$	метод дихотомии, метод простой итерации
5	$x^2 - \sin(5x) = 0$	метод половинного деления, метод касательных
6	$e^x + x^2 - 2 = 0$	метод хорд, метод простой итерации.
7	$0.8 \cdot x^2 - \sin(10 \cdot x) = 0$	метод половинного деления, метод хорд
8	$\sin(7 \cdot x) + 2 \cdot x - 6 = 0$	метод касательных, метод простой итерации
9	$x \cdot \ln(x) - 1 = 0$	метод хорд, метод касательных
10	$2 \cdot \lg(x) + 0.5 \cdot x = 0$	метод дихотомии, метод простой итерации
11	$e^{-x} - x^2 = 0$	метод половинного деления, метод касательных
12	$x^2 - 3 \cdot \cos(x^2) = 0$	метод хорд, метод простой итерации
13	$\sin(7 \cdot x) - x^2 + 15 = 0$	метод половинного деления, метод хорд
14	$(x - 1)^2 - 0.5 \cdot e^x = 0$	метод касательных, метод простой итерации
15	$2 \cdot \ln(x) - 0.2 \cdot x + 1 = 0$	метод хорд, метод касательных
16	$2 - x \cdot e^x = 0$	метод дихотомии, метод простой итерации
17	$0.1 \cdot x^3 + 3 \cdot x^2 - 10 \cdot x - 7 = 0$	метод половинного деления, метод касательных
18	$0.1 \cdot x^2 - e^x = 0$	метод хорд, метод простой итерации
19	$e^{-2 \cdot x} - 2 \cdot x + 1 = 0$	метод половинного деления, метод хорд
20	$x^2 - 3 + 0.5^x = 0$	метод касательных, метод простой итерации
21	$\lg(4 \cdot x) - \cos(x) = 0$	метод хорд, метод касательных
22	$\ln(x) - \cos^2(x) = 0$	метод дихотомии, метод простой итерации
23	$\frac{4}{x} - 0.2 \cdot e^x = 0$	метод половинного деления, метод касательных
24	$\sqrt{x + 6.5} - e^x = 0$	метод хорд, метод простой итерации.
25	$0.5^x + 1 - (x - 2)^2 = 0$	метод половинного деления, метод хорд

Список литературы

- [1] Алексеев Е.Р. *Программирование на Microsoft Visual C++ и Turbo C++ Explorer*. — М.: НТ Пресс, 2007. - 352с.
- [2] Алексеев Е.Р., Чеснокова О.В, Кучер Т.В. *Самоучитель по программированию на Free Pascal и Lazarus*. Донецк, Унитех, 2009. - 502с.
- [3] Б.П. Демидович, И.А. Марон. *Основы вычислительной математики*. — М. Наука, 1966. - 664с.
- [4] Керниган Б., Ритчи Д. *Язык программирования Си*. — М., Вильямс, 2013. - 304с.
- [5] Лаптев В.В. *C++. Объектно-ориентированное программирование*. — СПб., Питер, 2008. - 464с.
- [6] Лаптев В.В. Морозов А.В., Бокова. *C++. Объектно-ориентированное программирование. Задачи и упражнения*. — СПб., Питер, 2007. - 288с.
- [7] Подбельский В.В. *Язык C++*. — М., Финансы и статистика, 2001. - 560с.
- [8] Шиманович Е.Л. *C/C++ в примерах и задачах*. — Мн., Новое знание, 2004. - 528с.

Предметный указатель

- Алгоритм, 51
 - цикл с параметром, 81
 - цикл с постусловием, 79
 - цикл с предусловием, 77
 - циклический, 52, 77
 - линейный, 52
 - основные конструкции, 52
 - разветвляющийся, 52
- Библиотека
 - iostream, 7
 - math.h, 16
- Блок-схема, 51
- Директивы, 37
- Функции, 35
 - стандартные, 35
 - вывод данных, 39
 - ввод данных, 40
- Функция, 124
 - фактические параметры, 129
 - формальные параметры, 129
 - механизм передачи параметров, 129
 - описание, 125
 - перегрузка имени, 153
 - прототип, 126
 - рекурсивная, 150
 - шаблон, 156
 - тело функции, 125
 - вызов, 126
 - возврат результата, 127, 131
 - заголовок, 125
 - main, 8
 - sqrt(x), 16
- Идентификатор, 17
- Интерпретатор, 9
- Ключевые слова, 17
- Комментарии, 18
- Компилятор, 9
- Консольное приложение
 - создание, 12
 - запуск, 12
- Константа, 21
 - описание, 21
- Массив, 22
- Операции, 24
 - арифметические, 28, 34
 - бинарные, 25
 - битовой арифметики, 29
 - целочисленной арифметики, 29
 - декремента, 28
 - инкремента, 28
 - логические, 31
 - множественного присваивания, 27
 - отношения, 31
 - получение адреса, 32
 - преобразования типа, 32
 - присваивания, 26, 33
 - разадресации, 32
 - составного присваивания, 27
 - унарные, 24
 - условная, 31
- Операнд, 24
- Оператор
 - цикл с параметром, 81
 - цикл с постусловием, 79
 - цикл с предусловием, 77
 - циклический, 77
 - разветвляющийся, 53
 - составной, 53
 - условный, 54
- Передача параметров, 129
 - по адресу, 129
 - по значению, 129

- Переменная, 18
 - глобальная, 39, 128
 - имя, 18
 - локальная, 38, 128
 - описание, 18
 - значение, 18
- Подпрограмма, 124
- Программа, 37
 - структура, 37
- Рекурсия, 150
- Среда программирования
 - Qt Creator, 10
- Строка, 23
- Структура, 23
- Структура программы, 8
- Типы данных, 18
 - целый, 20
 - логический, 21
 - основные, 18
 - символьный, 19
 - составные, 19
 - структурированные, 22
 - вещественный, 20
- Транслятор, 9
- Указатель, 24
 - декремент, 34
 - инкремент, 34
 - получение адреса, 33
 - присваивание, 33
 - разадресация, 33
 - сложение с константой, 34
 - вычитание, 34
- Выражение, 24

Научное издание

Серия «Библиотека ALT Linux»

Алексеев Евгений Ростиславович, Григорий Григорьевич Злобин,
Дмитрий Александрович Костюк, Чеснокова Оксана Витальевна,
Чмыхало Александр Сергеевич

Программирование на языке C++ в среде Qt Creator

Оформление обложки: А. С. Осмоловская

Вёрстка: В. Л. Черный

Редактура: В. Л. Черный

Подписано в печать 26.08.14. Формат 60х90/16.

Гарнитура Computer Modern. Печать офсетная. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 23,0. . Тираж 999 экз. Заказ

ООО «Альт Линукс»

Адрес для переписки: 119334, Москва, 5-й Донской проезд, д. 15,

стр. 6

Телефон: (495) 662-38-83. E-mail: sales@altlinux.ru

<http://altlinux.ru>