

Н.В. Урюпин

**Геодезические
вычисления
на микроцифровых
и ЭКВМ**



Н. В. УРЮПИН

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ
ВЫЧИСЛЕНИЯ
НА МИКРО-
КАЛЬКУЛЯТОРАХ
И ЭКВМ



МОСКВА «НЕДРА» 1987

Урюпин Н. В. Геодезические вычисления на микрокалькуляторах и ЭВМ.—
М.: Недра, 1987. — 80 с., с ил.

Приведены краткие технические характеристики и системы команд отечественных микрокалькуляторов и электронных клавишных машин (ЭВМ), которые применяют для обработки геодезических измерений в полевых и камеральных условиях. На конкретных примерах показаны рациональные способы составления алгоритмов и программ вычислений для решения типовых инженерно-геодезических задач. Включен сборник программ для современных программируемых микрокалькуляторов «Электроника Б3-34», «Электроника МК-54» и др.

Для работников топографо-геодезического производства, занимающихся математической обработкой результатов геодезических измерений. Может быть полезна учащимся и студентам геодезических специальностей.

Табл. 53, ил. 8, список лит. — 8 назв.

Рецензент: Б. Д. Яровой, канд. техн. наук (Центральный научно-исследовательский институт геодезии аэросъемки и картографии им. Ф. Н. Красовского)

ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ИЗДАНИЕ

Николай Васильевич Урюпин

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ НА МИКРОКАЛЬКУЛЯТОРАХ И ЭВМ

Редактор издательства О. А. Селеннова

Обложка художника В. П. Христинина

Художественный редактор Г. Н. Юрчевская

Технический редактор Е. Л. Закашанская

Корректор В. Т. Юдович

ИК № 6482

Сдано в набор 23.07.86. Подписано в печать 09.10.86. Т-18946. Формат 60×90¹/16. Бумага офс. № 2. Гарнитура Литературная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 5,0. Усл. кр.-отт. 5,25. Уч.-изд. л. 5,90. Тираж 23 000 экз. Заказ № 1515/853—8. Цена 35 коп.

Издательство «Недра». 125047. Москва. пл. Белорусского вокзала, 3.
Московская типография № 6 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
109088. Москва. Ж-88. Южнопортовая ул., 24.

у 1902020000—112
—————
043(01)—87 8—87

© Издательство «Недра», 1987

Предисловие

За последнее десятилетие отечественная электронная промышленность освоила массовый выпуск микрокалькуляторов и мини-ЭВМ, предназначенных как для простых, так и для сложных научно-технических расчетов, выполняемых ИТР непосредственно на рабочих местах.

Дальнейшее расширение применения программируемых и информационных средств направлено на ускорение технического прогресса во всех областях народного хозяйства, в том числе и в топографо-геодезическом производстве.

Для обработки инженерно-геодезических измерений можно рекомендовать программируемые микрокалькуляторы и ЭКВМ, которые позволяют решать задачи по заранее введенным программам. Такие программы можно рассматривать как математическое обеспечение микрокалькулятора и ЭКВМ для решения геодезических задач. Вычислитель в процессе обработки полевых журналов вводит только результаты измерений и после нажатия клавиши «ПУСК» получает конечный результат вычислений: координаты, величины углов, поправок, высот и т. п. без записи промежуточных результатов. Производительность труда вычислителей при этом повышается в несколько раз.

Широкое распространение в практике топографо-геодезических вычислений получили микрокалькуляторы с клавишами тригонометрических функций. Наличие клавиш логических операций позволяет осуществлять программный контроль измерений и вычислений.

В книге приведены программы решения типовых инженерно-геодезических задач с помощью наиболее распространенных микрокалькуляторов серии «Электроника»: Б3-21, Б3-34, МК-52, МК-54, МК-56 и др. Показана особенность составления программ для ЭКВМ «Электроника Т3-16», «Искра-125» и Электроника Д3-28».

Основное назначение указанных программ — по возможности освободить вычислителей от их составления, так как сравнительно малый объем памяти микрокалькуляторов вынуждает применять всевозможные приемы для составления наиболее оптимальных программ. Кроме того, анализ приведенных программ поможет вычислителям быстрее научиться составлять программы для решения других задач и для других типов микрокалькуляторов.

Глава 1.

Общие сведения о малых ЭВМ

§ 1. Структура микрокалькуляторов и ЭКВМ

Успехи электроники за последнее десятилетие, в частности выпуск интегральных схем, позволили начать массовое производство одноплатных или однокристальных микрокалькуляторов, которые прошли сложный путь развития от простых — с четырьмя арифметическими действиями до программируемых, на которых можно выполнять сложные расчеты, в том числе и решение геодезических задач. На современных микрокалькуляторах, кроме арифметических действий, вычисляют прямые и обратные тригонометрические функции, логарифмы, некоторые константы, степенные и другие функции, оперируют с числами от $1 \cdot 10^{-99}$ до $1 \cdot 10^{99}$, вычисляют тригонометрические функции по аргументу, выраженному в градусах и радианах. Средняя скорость вычислений 5—7 операций в секунду, поэтому микрокалькуляторы иногда называют микроЭВМ или карманные ЭВМ. Масса микрокалькуляторов 0,2—0,5 кг.

При наличии микрокалькуляторов отпадает необходимость в тригонометрических и других специальных таблицах для решения геодезических задач. Микрокалькуляторы работают как от сети, так и от автономного источника питания, что позволяет выполнить геодезические вычисления непосредственно на точке наблюдения при полевых работах, своевременно обнаружить недопустимые погрешности измерения и оперативно организовать повторные наблюдения.

Микрокалькулятор (МК), как и любая электронно-вычислительная машина, выполняет одни и те же основные операции: ввод и хранение исходной информации (результаты измерений и координаты исходных точек при геодезических работах); арифметические и логические действия; вывод информации на индикацию и управление работой входящих в него устройств.

Микрокалькуляторы имеют следующие основные устройства: арифметическое, клавишное, запоминающее, индикации, управления и питания.

Арифметическое устройство (АУ), а при наличии клавиш логики — арифметико-логическое устройство (АЛУ), предназначено для выполнения арифметических и логических операций над числами и командами. Основой устройства являются сумматор и рабочие регистры для выполнения последовательных операций над введенными числами в соответствии с заданными командами.

Клавишное устройство (КУ) или устройство ввода-вывода

(УВВ) предназначено для ввода чисел и команд в АУ (АЛУ) или в запоминающее устройство, осуществляет преобразование исходных данных из десятичной в двоичную систему счета и производит обратное преобразование чисел при индикации. Представляет числа с фиксированной или плавающей запятой. Клавиши, как правило, совмещенные, т. е. имеют основные и дополнительные символы.

Запоминающее устройство (ЗУ), или память микрокалькулятора, предназначено для хранения вводимой информации, результатов вычислений и программ. Оно состоит из постоянного запоминающего устройства (ПЗУ) и оперативного запоминающего устройства (ОЗУ). Кроме того, некоторые микрокалькуляторы имеют стековую память с последовательной формой доступа к информации по принципу: число, посыпанное последним, выбирается первым, и наоборот.

В ПЗУ хранятся программы вычисления тригонометрических и других функций, а также константы, которые закладываются при изготовлении микрокалькулятора; доступа к регистрам памяти ПЗУ оператор не имеет.

В регистре памяти (ячейке) ОЗУ оператор может хранить одно число или одну команду (код). Регистр памяти состоит из разрядов, которые используются для хранения одной двоичной цифры (0 или 1).

Все ячейки ОЗУ последовательно пронумерованы, номер ячейки является ее адресом. В микрокалькуляторах память ОЗУ представлена в виде «страниц», поэтому адрес ячейки содержит две цифры. Первая цифра — номер «страницы», вторая — номер ячейки. По этим номерам происходит запись или считывание хранящейся информации. При занесении новой информации старая в памяти ОЗУ стирается. Если информация заносится в регистр стековой памяти, то предыдущая информация не стирается, а передвигается в соответствии с полученной командой: по часовой стрелке или против, вверх или вниз.

В ОЗУ современных микрокалькуляторов можно хранить до 14 чисел и программу объемом порядка 100 шагов. При выключении микрокалькуляторов информация, хранящаяся в регистрах ОЗУ, стирается.

Индикаторное устройство (ИУ) позволяет осуществлять визуальный контроль при вводе исходной информации и кодов программы, при считывании результатов вычислений. Кроме того, в микрокалькуляторах предусмотрена индикация определенных признаков (кодов) для информации оператора о переполнении разрядной сетки, попытки выполнения некорректной операции (деление на ноль и т. п.), при разрядке автономных источников питания. Обычно индикаторное устройство микрокалькулятора состоит из 12 разрядов, назначение которых показано на рис. 1.

Устройство управления (УУ) обеспечивает координацию работы всех устройств микрокалькулятора в процессе вычисления. Составной частью УУ являются клавиши питания режима рабо-

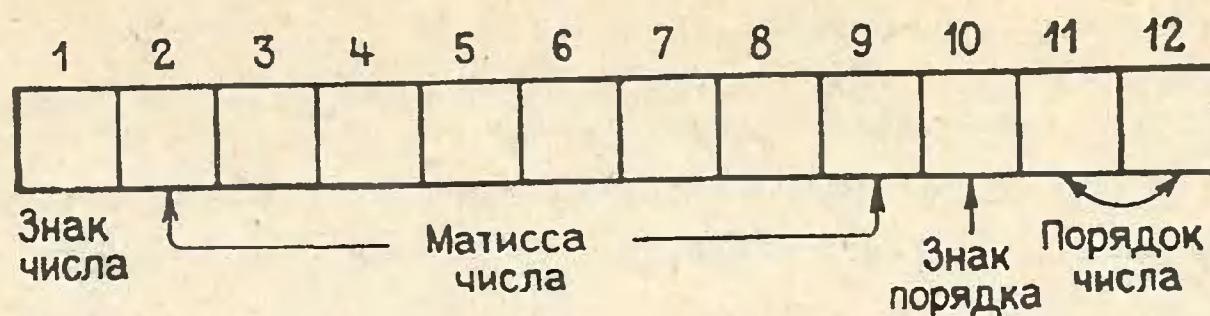


Рис. 1. Назначение разрядов индикаторного устройства

ты, коммутации электрических цепей для выполнения заданных операций, сигнализация в случаях некорректной операции и разрядки источников питания.

Кроме того, УУ программируемых МК обеспечивает запись, отладку, пошаговое прохождение и выполнение программы.

Питание микрокалькуляторов осуществляется как от автономных источников — аккумуляторов, так и от сети переменного тока напряжением 220 В с помощью блока питания, который можно использовать для подзарядки батарей.

Время зарядки аккумуляторных батарей около 16 ч, время непрерывной работы микрокалькулятора от них составляет 2—3 ч. Потребляемая мощность 0,5—1 Вт.

Основные характеристики отечественных микрокалькуляторов приведены в табл. 1.

Электронные клавиши вычислительные машины (ЭКВМ) выполняют те же функции, что и микрокалькуляторы, однако они отличаются увеличением объема памяти, массы, стоимости и быстродействием. Кроме того, к ЭКВМ могут подключаться внешние устройства. Поэтому ЭКВМ обычно применяют для организации камеральной обработки геодезических измерений в стационарных условиях или для создания автоматизированных вычислительных комплексов по обработке результатов измерений.

Объем памяти ЭКВМ колеблется от нескольких сот до нескольких тысяч байт (1 байт равен 8 двоичным разрядам) в зависимости от конструктивного исполнения. Память ЭКВМ может наращиваться блоками («Электроника Т3-16») или увеличиваться за счет встроенного кассетного накопителя на магнитной ленте типа МК-60 («Электроника Д3-28»). Все это значительно расширяет возможности вычислительной машины и позволяет не только решать на них геодезические задачи, но и выполнять уравнивание и оценку точности геодезических сетей по соответствующим программам.

Введенная в ЭКВМ информация, в том числе и программа, сохраняется после выключения питания.

Кроме того, часто повторяющиеся программы можно записывать на магнитную карту или на магнитную ленту для последующего многократного применения, что широко используется при организации геодезических вычислений.

Клавиатура содержит 60—70 клавиш, разбитых по функциональным признакам на четыре группы:

Таблица 1

Характеристики отечественных микрокалькуляторов серии «Электроника»

Технические характеристики	С3-15	Б3-18А	Б3-18М	Б3-19М	Б3-21	Б3-34	Б3-36	МК-54	МК-56
Форма представления запятой:									
фиксированная	+ - 8	+ - 8	+ - 8	+ - 8	+ - 8	+ - 8	+ - 8	+ - 8	+ - 8
плавающая	+ 8	+ 8	+ 8	+ 8	+ 8	+ 8	+ 8	+ 8	+ 8
Число разрядов индикатора	+ 15	+ 15	+ 15	+ 15	+ 15	+ 15	+ 15	+ 15	+ 15
Разрядность представления чисел	- 10	- 10	- 10	- 10	- 10	- 10	- 10	- 10	- 10
Преобразование градус—радиан	- +	- +	- +	- +	- +	- +	- +	- +	- +
Выполнение действий со скобками	- +	- +	- +	- +	- +	- +	- +	- +	- +
Вычисления:	+ , - , × , ÷	+ , - , × , ÷	+ , - , × , ÷	+ , - , × , ÷	+ , - , × , ÷	+ , - , × , ÷	+ , - , × , ÷	+ , - , × , ÷	+ , - , × , ÷
$\sqrt{-x}$									
x^2									
$1/x$									
$\sin, \cos, \operatorname{tg}$									
arc									
$\ln x, \lg x, e^x, 10^x$									
y^x									
Наличие памяти									
Индикация переполнения									
Стековый регистр									
Программирование									
Количество клавиш									
Количество шагов программы	- 40	- 40	- 40	- 40	- 40	- 40	- 40	- 40	- 40
Питание от сети	+ 1,2	+ 1,2	+ 1,2	+ 1,2	+ 1,2	+ 1,2	+ 1,2	+ 1,2	+ 1,2
Тип аккумуляторной батареи	+ 0,45	+ 0,45	+ 0,45	+ 0,45	+ 0,45	+ 0,45	+ 0,45	+ 0,45	+ 0,45
Потребляемая мощность, Вт	+ 0,5	+ 0,5	+ 0,5	+ 0,5	+ 0,5	+ 0,5	+ 0,5	+ 0,5	+ 0,5
Масса, кг	+ 0,4	+ 0,4	+ 0,4	+ 0,4	+ 0,4	+ 0,4	+ 0,4	+ 0,4	+ 0,4

ввод цифровой информации;
вычисление математических функций;
обмен информацией между регистрами;
управление.

На индикаторном устройстве высвечивается содержимое двух-трех рабочих регистров, что позволяет одновременно индицировать результаты геодезических вычислений, например координаты x , y и высоту H .

Питание ЭКВМ осуществляется от сети переменного тока 220 В, потребляемая мощность до 100 Вт. Масса около 25 кг.

К ЭКВМ могут подключаться электрические пишущие машины типа «Консул», (ЧССР) или ЭУМ-23 (СССР), графопостроители и другие приборы для ввода и вывода информации.

Некоторые модели ЭКВМ выпускаются с математическим обеспечением в виде пакетов стандартных программ для решения типовых задач из различных областей науки и техники, в том числе и в области геодезии (решение прямой и обратной геодезической задачи, вычисление координат, оценка точности измерений и т. п.).

§ 2. Назначение основных клавиш микрокалькуляторов и ЭКВМ

Модели выпускаемых микрокалькуляторов различаются конструктивным оформлением, расположением клавиш и надписями на них. В технической документации указано назначение каждой клавиши и принятые сокращения.

Ниже приведены символы и сокращения, встречающиеся на клавиатурах микрокалькуляторов и ЭКВМ (табл. 2, 3).

Символы клавиатур электронных калькуляторов и микрокалькуляторов во многом совпадают. Клавиши ЭКВМ, как правило, выполняют только по одной операции. Кроме того, в символах клавиш отдельных ЭКВМ наблюдается большое разнообразие. В табл. 4 приведены символы и надписи на клавиатуре ЭКВМ «Электроника Т3-16» и «Искра-125».

§ 3. Представление чисел в микрокалькуляторах и ЭКВМ

В микрокалькуляторах и ЭКВМ числа представляются с фиксированной (естественной) или плавающей запятой.

Число с плавающей запятой представляется как произведение двух сомножителей:

$$x = \pm mq^{\pm p},$$

где m — мантисса (<1); q — основание системы счисления; p — порядок числа (может изменяться от -99 до $+99$).

Мантисса, у которой первая цифра после запятой отлична от нуля, называется нормализованной.

На индикаторе порядок числа высвечивается в двух правых разрядах со своим знаком.

Таблица 2

Основные символы и сокращения на клавишиах микрокалькуляторов

Обозначение	Выполняемая операция
+	Сложение
-	Вычитание
×	Умножение
÷	Деление
=	Выполнение ранее подготовленных действий
/ - /	Изменение знака числа
↑, B↑	Ввод числа (пересылка из регистра X в регистр Y)
F, P	Совмещение функций двух клавиш (префиксная клавиша)
1/X	Вычисление обратной величины
X ^Y , Y ^X	Возведение числа в степень
$\sqrt{}$, $\sqrt[n]{}$	Извлечение квадратного корня
ln, lg, e ^X , 10 ^X	Вычисление соответствующих функций
sin, cos, tg arc, sin ⁻¹ , cos ⁻¹ , tg ⁻¹	Вычисление тригонометрических функций Вычисление обратных тригонометрических функций
π	Выход числа π на индикатор
(,)	Открывающая, закрывающая скобка
[(]	Вычисление с двухуровневыми скобками
ВП	Ввод порядка числа
C, CX	Сброс (очистка) регистра X (регистра индикации)
CF	Снятие режима совмещенной функции
СП	Очистка регистра памяти
X → Y, X → П ← → П → X, X → П	Обмен содержимым между регистрами
X ²	Возведение числа на индикаторе во вторую степень
○	Обратное деление
Сч, ИП	Выход содержимого регистра памяти на индикатор
ЗП, ЗАП, П	Запись (ввод) числа в регистр памяти
П+	Сложение числа на индикаторе с содержимым в регистре памяти
П-	Вычитание числа на индикаторе из содержимого в регистре памяти
П [×]	Умножение числа на индикаторе с числом, хранящимся в регистре памяти
П [÷]	Деление числа, хранящегося в памяти, на число на индикаторе
ДВ	Данные восстановлены при исправлении ошибки ввода числа
Г → Р, Р → Г, Г, Р	Перевод градусов в радианы и обратно, задание аргумента в градусах или радианах при вычислении тригонометрических функций
С/П	Пуск, останов или продолжение вычисления по программе

Таблица 3

Дополнительные символы и сокращения на клавишиах программируемых микрокалькуляторов

Обозначение	Выполняемые операции
РР, АВТ РП, ПРГ БП $X \geq 0, X < 0, X = 0, X \neq 0$ НОП	Переход в режим «Работа» Переход в режим «Программирование» Безусловный переход Проверка соответствующих условий Нет операций
\rightarrow ШГ	Пошаговое прохождение программы в сторону увеличения адресов
\leftarrow ШГ	Пошаговое прохождение программы в сторону уменьшения адресов
ПП	Обращение к подпрограмме, пошаговое прохождение программы в режиме «Работа»
В/О	Возврат из подпрограммы, переход на нулевой шаг программы
L0, L1, L2, L3	Циклические вычисления с регистрами 0, 1, 2, 3
○ ○ ↑ ↓	Кольцевая передача информации в стеке по часовой стрелке
⊤	Кольцевая передача информации в стеке против часовой стрелки
К A, B, C, D a, b, c, d	Префиксная клавиша косвенного перехода Регистры памяти

Например, при вводе числа $-13,14$ в форме с плавающей запятой $-0,1314 \cdot 10^2$ на индикаторе высветятся цифры, показанные на рис. 2.

Необходимость применения плавающей запятой вызвана тем, что при операции с фиксированной запятой может произойти потеря значащих цифр, а следовательно, уменьшится точность из-за переполнения разрядной сетки.

В микрокалькуляторах используется комбинированная форма представления чисел: в диапазоне от 1 до 99 999 999 — с фиксированной запятой, а в диапазоне от $1 \cdot 10^{-99}$ до 1 и от 99 999 999 до $9,999\ 999\ 9 \cdot 10^{99}$ с плавающей запятой.

В зависимости от конструкций МК и ЭКВМ индикация результата вычислений может производиться с округлением по правилу

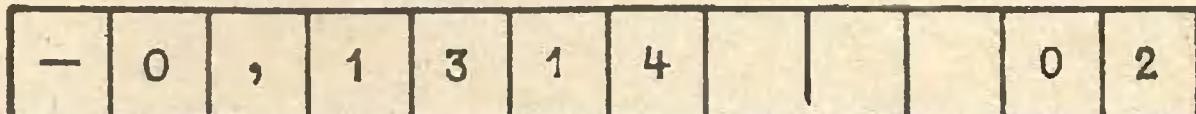


Рис. 2. Представление на индикаторе числа с плавающей запятой

Символы и надписи на клавишиах ЭКВМ «Электроника Т3-16»

Обозначение	Выполняемая операция
ВЫЧИСЛЕНИЕ	Перевод в режим вычисления и ввода программы с магнитной карты
ПРОГРАММИР	Перевод в режим программирования
ЗАПИСЬ	Запись программы на магнитную карту
ВВОД	Ввод программы с магнитной карты
ПУСК	Пуск
СТОП	Останов
СБРОС	Сброс содержимого рабочих регистров X, Y, Z и регистров ОЗУ L, f
↑	Перенос содержимого регистра z в регистр Y, содержимого регистра Y в регистр X. Содержимое регистра X теряется
↓	Перенос содержимого регистра X в регистр Y, содержимого регистра Y в регистр Z. Содержимое регистра Z теряется
КП ↑	Кольцевая передача содержимого рабочих регистров без потери информации $X \rightarrow Y \rightarrow Z \rightarrow X$
КП ↓	Кольцевая передача содержимого рабочих регистров без потери информации: $Z \rightarrow Y \rightarrow X \rightarrow Z$
СБРОС X	Сброс содержимого регистра X. Прерывание выполнения программы и переход к индикации
КОНЕЦ	Начало вычисления с нулевого шага программы
ШАГ ПРОГР	Одношаговое прохождение программы
ПАУЗА	Кратковременная индикация содержимого регистров X, Y, Z
X → ()	Перенос содержимого регистра X в регистр памяти, указанный следующей командой
Y → ()	Перенос содержимого регистра Y в регистр памяти, указанный следующей командой
X ← ()	Перенос содержимого регистра памяти в регистр X
Y ← ()	Обмен содержимого регистра Y и указанного регистра памяти
ИН	Перенос содержимого регистра f в регистр X, а регистра L в Y
ГИПЕР	Вычисление гиперболических функций
ЦЧХ	Выделение целой части числа в регистре X
К ПОЛЯР	Вычисление полярных координат (решение обратной геодезической задачи)
К ПРЯМ	Вычисление прямоугольных координат (решение прямой геодезической задачи)
Y	Определение модуля числа в регистре Y
ЕСЛИ X < Y	Условный переход. По этим командам сравнивают числа, содержащиеся в регистрах X и Y
ЕСЛИ X = Y	Условный переход по команде «УСТ МЕТКИ»
ЕСЛИ X > Y	Команда условного перехода
ЕСЛИ МЕТКА	Вычитание содержимого регистров X и Y из содержимого регистров f и L
УСТ МЕТКИ	Суммирование содержимого регистров X и Y с содержимыми регистров f и L
H-	
H+	

Гаусса или с «отбрасыванием» остатка. Для того чтобы определить, как работает вычислительная машина, достаточно выполнить операцию $2:3$. Если проиндицируется число $0,666\ 666\ 7$, то вычисление выполнено с округлением, если $0,666\ 666\ 6$, то с «отбрасыванием» остатка.

На клавиатуре некоторых ЭКВМ имеется специальный переключатель, с помощью которого можно устанавливать необходимое количество значащих цифр после запятой. Такое ограничение не влияет на точность вычислений, так как в АУ операции выполняются со всеми введенными цифрами.

При вводе отрицательных чисел знак «—» устанавливается клавишей «ИЗМ ЗНАКА».

Угловые величины могут вводиться в градусной мере (градусы и доли градуса) или в радианах. Режим ввода устанавливается с помощью клавиши «ГРАДУСЫ—РАДИАНЫ». Если клавиши нет, то угловые величины вводятся только в радианной мере, что представляет определенные неудобства при выполнении геодезических вычислений.

Перевод градусов, минут и секунд в радианы производится по формуле

$$\rho = (\alpha^\circ + \alpha'/60 + \alpha''/60) (\pi/180).$$

При решении обратной геодезической задачи перевод из радианной меры в градусную осуществляется по формулам:

$$\alpha^\circ = \rho (180/\pi);$$

$$\alpha' = 0, \alpha' \cdot 60;$$

$$\alpha'' = 0, \alpha'' \cdot 60,$$

где ρ — радианы; α° , α' , α'' — градусы, минуты, секунды.

При решении геодезических задач с помощью программируемых микрокалькуляторов вычисления по вышеприведенным формулам целесообразно выполнять по соответствующим программам.

Прямые тригонометрические функции вычисляются в пределах от 0 до $\pm 360^\circ$ ($\pm 2\pi$) и более, а обратные — только для угла первой четверти от 0 до $\pm 90^\circ$ ($\pm \pi/2$).

Допустимые значения аргумента при вычислении тригонометрических функций изменяются в зависимости от моделей МК и ЭКВМ. Так, например, для микрокалькулятора «Электроника Б3-34» допустимые значения аргумента при вычислении функций составляют:

$\sin x$, $\cos x$	от $1 \cdot 10^{-49}$ до 10^9 ;
$\operatorname{tg} x$	от $1 \cdot 10^{-99}$ до 10^9 ;
$\arcsin x$, $\arccos x$	от 0 до 1;
$\operatorname{arctg} x$	от $1 \cdot 10^{-99}$ до $9,999\ 999\ 9 \cdot 10^{99}$;
x^2	от 0 до 10^{50} .

При этом максимальная относительная погрешность составляет $3 \cdot 10^{-7}$ при вычислении тригонометрических функций, $1 \cdot 10^{-7}$ — при

возведении в квадрат и $1 \cdot 10^{-4}$ — при извлечении квадратного корня.

К некорректным операциям, которые не выполняются на МК и ЭКВМ, относятся:

деление на 0;

возвведение числа x в степень, если $x=0$;

нахождение величины $1/x$, если $x=0$;

вычисление десятичного логарифма, если $x \leq 0$;

вычисление натурального логарифма, если $x \leq 0$;

вычисление $\operatorname{tg} x$, если $x=\pi/2 \pm \pi \cdot n$;

вычисление \arcsin и $\arccos x$, если $|x| > 1$.

Во всех указанных случаях на индикаторе МК высвечивается сигнал переполнения. Например, в МК «Электроника Б3-34» высвечивается сигнал ЕГГОГ.

Глава 2.

Геодезические вычисления с помощью непрограммируемых микрокалькуляторов

Непрограммируемые микрокалькуляторы являются вычислительными машинами с ручным вводом исходных данных и ручным управлением с помощью клавиатуры пульта управления. Перед началом геодезических вычислений целесообразно продумать и составить схему вычислений, обеспечивающую минимальное нажатие клавиш и по возможности исключающую запись промежуточных результатов путем максимального использования имеющихся регистров памяти. Выпускается большое количество моделей непрограммируемых микрокалькуляторов, на которых могут решаться геодезические задачи. Порядок вычислений на них практически одинаков. Различия определяются количеством и расположением клавиш, а также символами и принятыми сокращениями. Ниже рассматриваются геодезические вычисления с помощью микрокалькуляторов типа «Электроника Б3-18М» и С3-15.

§ 4. Вычисления на микрокалькуляторе «Электроника Б3-18М»

Непрограммируемый микрокалькулятор «Электроника Б3-18М» выполняет арифметические действия, вычисляет натуральные и десятичные логарифмы, прямые и обратные тригонометрические функции, корни, степени и т. п. для любых действительных чисел.

Если результаты вычислений превышают 8 десятичных разрядов, то наступает переполнение разрядной сетки. В этом случае в первом разряде индикатора высвечивается 0, а в девятом разряде — знак «.».

Вычисления на микрокалькуляторе выполняют с учетом следующих требований:

при нажатии одной из клавиш «+»; «—»; «×»; «÷»; «=» выполняется команда предыдущей клавиши (если такая была). Кроме того, при нажатии клавиши «=» число на индикаторе можно использовать как константу для последующих операций;

для очистки индикатора и рабочего регистра необходимо нажать клавишу С два раза, а для очистки регистра памяти последовательно нажать клавиши С, F и ЗАП;

перевод микрокалькулятора в режим совмещенной функции осуществляется нажатием клавиши F. Обозначение второй функции расположено над клавишей;

вычисление тригонометрических функций производится по аргументу, выраженному в градусной (в градусах и долях градуса) или радианной мере угла.

При последовательном нажатии клавиш F, арг и одной из функций sin, cos и tg вычисляется величина обратной тригонометрической функции в градусной или радианной мере от числа на индикаторе.

Наличие клавиш тригонометрических функций, операционных клавиш П—, П+, П+Х² и других позволяет широко применять микрокалькулятор «Электроника Б3-18М» для решения геодезических задач и оценки точности геодезических измерений. При этом для сокращения записи промежуточных результатов необходимо максимально использовать комбинацию трех регистров: индикатор, рабочий регистр и регистр памяти.

Пример. Решить обратную геодезическую задачу по следующим исходным данным:

$$\begin{aligned}x_1 &= 61\ 451,0; & y_1 &= 48\ 773,0; \\x_2 &= 64\ 547,7; & y_2 &= 51\ 309,7.\end{aligned}$$

Расчетные формулы для решения задачи:
определение расстояния между исходными пунктами

$$d = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2};$$

определение дирекционного угла

$$\alpha = \operatorname{arctg} (\Delta y / \Delta x).$$

Учитывая назначение клавиш МК «Электроника Б3-18М», составим поэтапную схему вычислений.

1. Определяем и записываем приращения координат:

$$\Delta x = 64\ 547,7 - 61\ 451,0 = 3\ 096,7;$$

$$\Delta y = 51\ 309,7 - 48\ 773,0 = 2\ 536,7.$$

2. Вычисляем расстояние d путем нажатия клавиш и ввода исходных данных в следующем порядке:

$$C F ЗАП 3096,7 X = F П + 2535 X = F П + \\ F ИП F V.$$

После нажатия клавиши « V » вычисление заканчивается индикацией $d=4003,048$ и 4.

3. Вычисляем дирекционный угол:

$$C F ЗАП 2536,7 \div 3096,7 = F \operatorname{arc} \operatorname{tg}.$$

После нажатия клавиши tg вычисление заканчивается индикацией $a=39,323\ 04^\circ$. Для перевода полученных долей градуса ($0,323\ 04^\circ$) в минуты дополнительно нажимаем клавиши — 39 X 60 =, после чего на индикаторе получим число минут $19,382\ 4'$. Таким образом, окончательно получим угол $a=39^\circ 19.4'$.

Обратная геодезическая задача по рассмотренной схеме решается путем нажатия 20 клавиш, не считая цифр исходных данных, которые вводятся дважды, и перевода долей градусов дирекционного угла в минуты.

Для решения указанной задачи можно составить более оптимальную схему вычислений.

При этом нажатие клавиш и ввод исходных данных будут производиться в следующем порядке:

$$C F ЗАП 2536,7 F П + X^2 \div 3096,7 F П + X^2 = \\ = F \operatorname{arc} \operatorname{tg} (\text{индицируется дирекционный угол } a = 39,323\ 04^\circ) F \\ ИП F V.$$

После нажатия клавиши « V » вычисление заканчивается индикацией $d=4\ 003,048\ 4$.

Во втором варианте для решения обратной геодезической задачи нам потребовалось нажать 16 клавиш, т. е. на 4 клавиши меньше, чем в первом. Исходные данные вводились только один раз.

При вычислении с помощью микрокалькуляторов перевод долей градуса в угловые минуты и секунды следует делать только в том случае, если результат является окончательным. В противном случае, когда полученный результат необходимо будет снова вводить в микрокалькулятор, перевод делать нецелесообразно.

§ 5. Вычисления на микрокалькуляторе «Электроника С3-15»

Клавиатура микрокалькулятора «Электроника С3-15» по сравнению с Б3-18М имеет следующие отличия:

числа представляются с фиксированной или плавающей запятой в диапазоне от $1 \cdot 10^{-99}$ до $1 \cdot 10^{99}$;

тригонометрические функции вычисляются по аргументу, заданному только в радианной мере;

имеются дополнительные клавиши ВП, Сч, ρ, (,), СХ, два регистра памяти и два рабочих регистра; нет префиксной клавиши F, так как клавиши не совмещенные.

Клавиша ВП позволяет вводить числа с плавающей запятой; при этом сначала вводят все значащие цифры, а после нажатия клавиши ВП — порядок числа со своим знаком.

В регистры памяти записывается число, высвеченное на индикаторе, путем нажатия клавиши ЗАП и любой цифры: при нажатии нечетной цифры — число записывается в первый регистр, при нажатии четной — во второй регистр. Вызов числа из регистров памяти на индикатор (считывание) производится после нажатия клавиши Сч и любой цифры: если цифра нечетная — число вызывается из первого регистра, если четная — из второго. Число в регистре памяти стирается при выключении МК или при засылке цифры 0.

Клавиша ρ позволяет вычислять расстояние при решении обратной геодезической задачи без дополнительного нажатия клавиш арифметических операций.

Например, при $x=3096,7$ и $y=2536,7$ ввод исходных данных и решение задачи производятся в следующем порядке: 3096,7 ρ 25,36,7 =. После нажатия клавиши «=» вычисление заканчивается индикацией величины $d=4003,05$.

Индикация результатов вычислений может производиться в двух режимах: с двумя значащими цифрами после запятой или до девяти значащих цифр. Первый режим устанавливается автоматически после включения микрокалькулятора, второй режим может быть установлен вычислителем путем нажатия клавиш агс; «,» и любой клавиши с цифрами от 2 до 9.

Например $\operatorname{tg} \alpha = 2536,7 / 3096,7 = 0,82$ (в первом режиме), или 0,81916 (во втором режиме) — после нажатия клавиш агс; «,»; 5.

Если еще раз нажать клавиши агс; «,»; 9, то на индикаторе появится число 0,819 162 334. Таким образом, точность вычислений на микрокалькуляторе не зависит от установленного числа значащих цифр и всегда выполняется с девятью значащими цифрами.

Сигналом о переполнении разрядной сетки или о выполнении некорректной операции является высвечивание точек во всех разрядах индикатора. После нажатия клавиши С можно продолжать вычисления. При нажатии клавиши СХ число из рабочего регистра пересыпается в регистр индикации.

Пример. Решить треугольник по формулам:

$$a = (b / \sin B) \sin A;$$

$$c = (b / \sin B) \sin C,$$

где a, b, c — стороны треугольника; A, B, C — углы.

Исходные данные: $A = 53^\circ 27,3'$; $B = 505^\circ 56,5'$; $C = 75^\circ 36,2'$; $b = 5634,14$. Определить стороны a и c .

Составим схему вычислений без записи промежуточных резуль-

Последовательность работы оператора

Исходные данные		Нажимаемые клавиши	Результаты вычислений	Индцируемое число
Обозначение	Величина			
B'	56,5	$\pi \div 180 = \text{ЗАП1}$		0,02
B°	50	$\div 60 = +$		0,94
b	5634,14	$= \times \text{Сч1} = \sin 1/X \times$ $= \text{ЗАП2}$	—	1,29 7255,77
A'	27,3	$\div 60 = +$		0,46
A°	53	$= \times \text{Сч1} = \sin \times \text{Ср2} =$	a	5829,21
C'	36,2	$\div 60 = +$		0,60
C°	75	$= \times \text{Сч1} = \sin \times \text{Ср2} =$	c	7027,92

татов при условии, что углы измерены с точностью до $0,1'$:

$$\pi \div 180 = \text{ЗАП1};$$

$$B' \div 60 = + B^\circ = \times \text{Сч1} = \sin 1/X \times b = \text{ЗАП2};$$

$$A' \div 60 = + A^\circ = \times \text{Сч1} = \sin \times \text{Сч2} = a;$$

$$C' \div 60 = + C^\circ = \times \text{Сч1} = \sin \times \text{Сч2} = c.$$

Символами A° , B° и C° обозначен ввод числа градусов, A' , B' и C' — ввод числа минут угла, b — ввод стороны b . Результаты вычислений выделены полужирным шрифтом.

Таким образом, при решении треугольника угловые величины вводятся раздельно, т. е. сначала вводится число минут, а после нажатия клавиш $\div 60 = +$ вводится число градусов (табл. 5).

Глава 3.

Геодезические вычисления с помощью программируемых микрокалькуляторов

Геодезические вычисления с помощью программируемых микрокалькуляторов принципиально отличаются от аналогичных вычислений на непрограммируемых микрокалькуляторах. Отличие обусловлено тем, что в программируемый микрокалькулятор достаточно один раз ввести программу конкретной задачи и затем многократно использовать ее для обработки результатов измерений. При этом вычисления сводятся к простейшим операциям: ввод исходных данных или результатов измерений и после нажатия клавиши «ПУСК» — считывание полученного результата.

На подготовку микрокалькулятора и ввод программы затрачивается не более 5 мин, на решение геодезических задач — от нескольких секунд до 5 мин (решение засечки).

Опыт показывает, что геодезические вычисления более рационально выполнять на программируемых микрокалькуляторах, чем на ЭВМ: отпадает необходимость в подготовке информации для ввода в ЭВМ, сокращаются сроки обработки материалов измерений, более оперативно обнаруживаются и устраняются ошибки измерений и вычислений.

В общем случае решение геодезических задач на программируемых микрокалькуляторах выполняется в несколько этапов:

математическая формулировка задачи;

составление алгоритма;

составление и отладка программы;

ввод программы с клавиатуры;

ввод исходных данных и констант;

решение задачи и запись результатов вычислений.

Математическая формулировка геодезических задач заключается в отборе расчетных формул и приведении их к виду, удобному для вычисления с помощью конкретного образца микрокалькулятора, а также в определении методики вычислений с автоматизацией контроля полученных результатов. Численные методы позволяют свести решение геодезических задач к последовательному выполнению арифметических, логических и других операций при наиболее эффективном использовании арифметического устройства и регистров памяти микрокалькулятора.

§ 6. Составление алгоритма

Составление алгоритма решения геодезической задачи, как и любой другой, заключается в установлении строго определенной последовательности вычислительных операций, приводящих к получению однозначного результата. Алгоритмы составляют линейные, разветвляющиеся и циклические.

В линейных алгоритмах вычисления выполняются поэтапно, начиная с первого до последнего. В разветвляющихся и циклических алгоритмах вычисления осуществляются в зависимости от поставленного логического условия, например, если все измеренные углы теодолитного хода введены и обработаны, предусмотреть команду для перехода к вычислению угловой невязки и, если она допустима, предусмотреть ввод расстояний и вычислений координат точек и т. п.

Составление линейного алгоритма рассмотрим на примере вычисления высот и пикетажа при тахеометрической съемке по оси трассы линейных изысканий (теодолит Т30).

Исходные формулы:

$$\text{ПК}_i = \text{ПК}_c + Kl \cos^2 \alpha;$$

$$H_i = H_c + (1/2) Kl \sin^2 2\alpha + i - v,$$

где K — коэффициент дальномера; l — отсчет по дальномерной рейке; α — угол наклона; i — высота инструмента; v — высота визирования по рейке; ПК_c ; H_c — пикет и высота станции; ПК_i ; H_i — пикет и высота определяемой точки.

Для удобства программирования преобразуем исходные формулы для вычислений по этапам:

$$d_r = Kl \cos^2 \alpha;$$

$$\text{ПК}_i = \text{ПК}_c + d_r;$$

$$h_i = d_r \operatorname{tg} \alpha + i - v;$$

$$H_i = H_c + h_i,$$

где d_r — горизонтальное расстояние; h — превышение.

Составленный таким образом алгоритм представим блок-схемой (рис. 3), где в блоках 2—7 показаны расчетные формулы вычислительных операций.

В данном линейном алгоритме обработки точек тахеометрического хода предусматривается ввод исходной информации в полном объеме для каждой съемочной точки.

Для того чтобы сократить количество вводимых величин и иметь возможность одновременно сравнивать результаты вычислений превышений по двум высотам визирования, составим разветвляющийся алгоритм обработки тахеометрического хода (рис. 4).

В алгоритме предусмотрен раздельный ввод констант K и E , исходных данных ПК_c и H_c и результатов измерений l , α , v , i . При этом величины K и E вводятся один раз для всего хода, ПК_c , H_c и i — один раз для каждой точки стояния прибора (станции), измеренные величины вводятся для каждой съемочной точки и для каждой высоты визирования.

Составление циклического алгоритма рассмотрим на примере вычисления сближения меридианов по формуле

$$\gamma = l \sin B,$$

где l — разность долгот; B — широта.

Если задан шаг изменения величины l , то для точек с постоянной широтой данную формулу можно представить следующим образом:

$$\gamma_{i+1} = (l_i + \Delta l) \sin B,$$

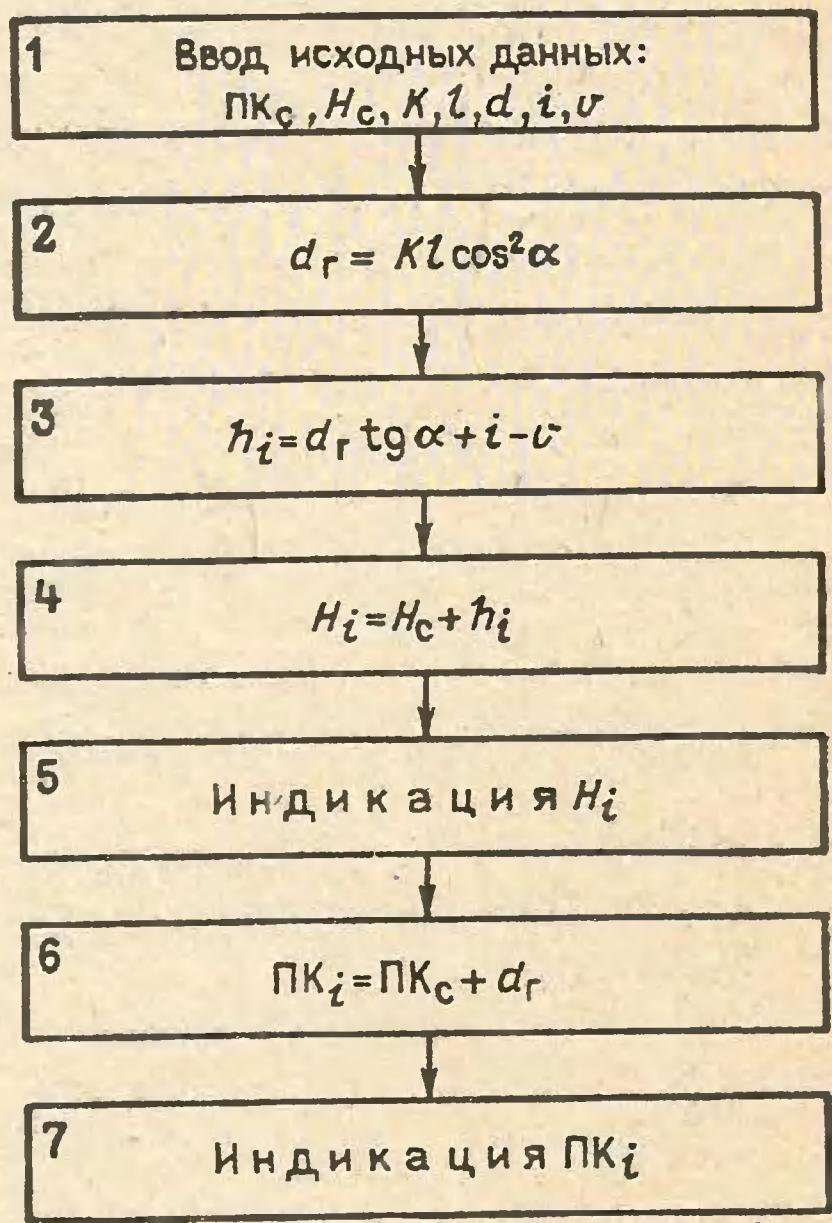


Рис. 3. Схема линейного алгоритма

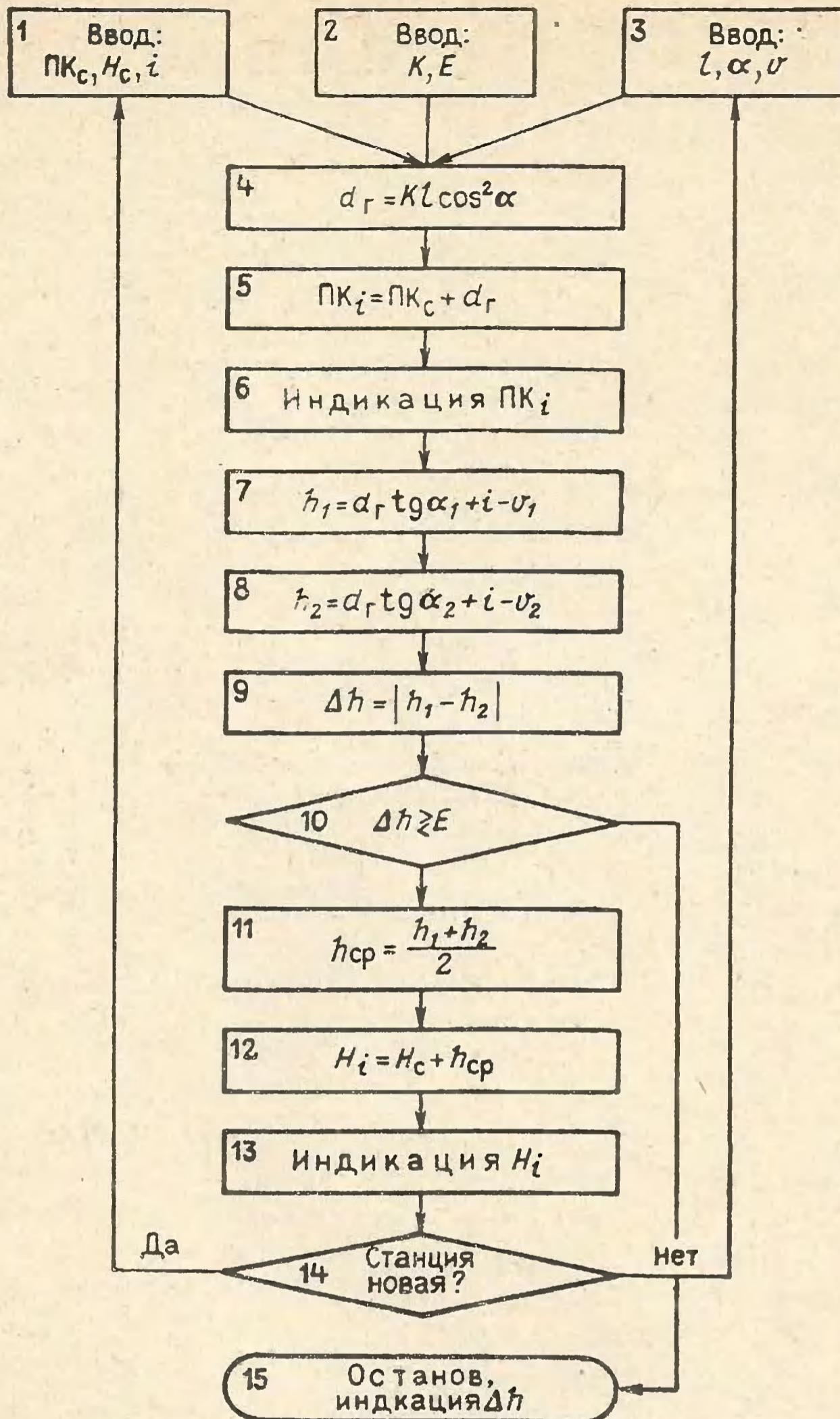


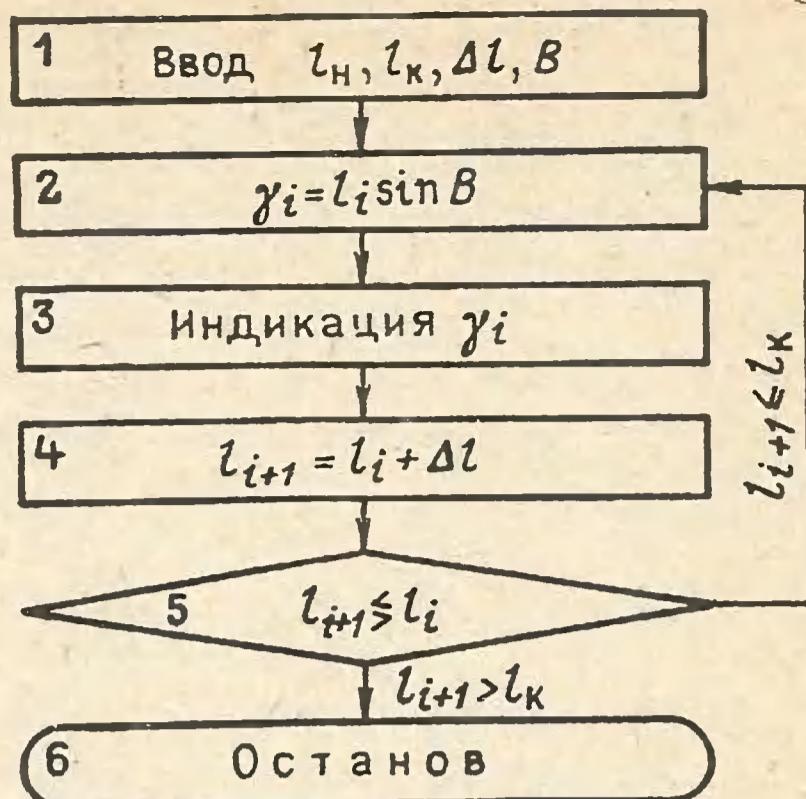
Рис. 4. Схема разветвляющегося алгоритма

где Δl — шаг изменения разности долгот.

Блок-схема циклического алгоритма вычисления γ представлена на рис. 5.

Организацию циклических вычислений осуществляет логический блок 5, который обеспечивает автоматическое вычисление всех значений γ в заданных пределах от l_n до l_k .

Рис. 5. Схема циклического алгоритма



§ 7. Программирование

После того как алгоритм решения геодезической задачи составлен, приступают к ее программированию.

Программирование включает распределение ячеек или регистров памяти ОЗУ микрокалькулятора или ЭКВМ для хранения исходной информации и констант, а также написание команд, устанавливающих определенную последовательность выполнения арифметических, логических и других операций. Хотя этот процесс не требует детального знания конструктивных устройств микрокалькуляторов и ЭКВМ, однако оператор, составляющий программу, должен хорошо знать назначение каждой клавиши, уметь сравнивать объем решаемой геодезической задачи с величиной памяти ОЗУ микрокалькулятора. Если объем памяти ОЗУ окажется недостаточным, то необходимо продумать решение задачи по этапам, при этом для каждого этапа составляется отдельная программа.

Наиболее простой является программа решения задачи по линейному алгоритму, представляющая собой последовательное выполнение вычислительных команд с первой до последней. При этом результаты вычислений предыдущих блоков исходны для последующих (см. рис. 3).

Программы разветвляющихся и циклических алгоритмов сложнее линейных, так как они кроме арифметических операций содержат и логические операции в виде команд условных и безусловных переходов, сравнения чисел, анализа программных условий и т. п.

Память ОЗУ микрокалькулятора весьма ограничена (не более 98 шагов программы), поэтому при составлении программы необходимо ее оптимально использовать, так как вычисление по программам состоит в автоматической выборке и передаче в рабочие регистры необходимых чисел и пересылке промежуточных результатов в свободные регистры оперативной памяти. При этом число, засыпаемое в регистр памяти, автоматически стирает его предыдущее содержимое.

Программа будет оптимальной в том случае, если она с минимальным количеством шагов полностью решает геодезическую задачу в пределах программной памяти микрокалькулятора.

Экономия объема памяти ОЗУ достигается также тем, что участки программы, многократно используемые в процессе решения геодезической задачи, выделяют в самостоятельные подпрограммы. Например, программу решения прямой геодезической задачи можно рассматривать как подпрограмму (ПП) при вычислении засечки и т. п.

Заранее разработанные программы и подпрограммы для решения определенного круга задач называют стандартными, и они включаются в математическое обеспечение микрокалькуляторов и ЭКВМ, что значительно повышает экономический эффект их использования.

Некоторые заводы, выпускающие микрокалькуляторы и ЭКВМ, разрабатывают и включают в комплект пакеты стандартных программ для решения задач из различных областей науки, техники и математической статистики, в том числе и в области геодезии.

Практические приемы составления программ решения геодезических задач будут рассмотрены применительно к конкретным образцам микрокалькуляторов и электронных клавишных вычислительных машин.

§ 8. Вычисления на микрокалькуляторе «Электроника Б3-21»

Микрокалькулятор «Электроника Б3-21» — первая отечественная микроЭВМ на больших интегральных схемах, имеющая команды логических операций. Вычисления можно выполнять как в ручном, так и в автоматическом режиме по заранее введенным программам.

В режиме «Автоматическая работа» микрокалькулятор производит следующие операции:

- выполняет четыре арифметических действия;
- вычисляет прямые и обратные тригонометрические функции;
- вычисляет функции: x^y , $\ln x$, $\lg x$, $\sqrt[x]{x}$, x^2 , $1/x$;
- вызывает константу π в регистр X;
- записывает информацию в восемь регистров памяти ОЗУ;
- записывает информацию в шесть регистров стековой памяти и управляет ее передвижением;
- обменивает информацию между рабочими регистрами X и Y;
- вычисляет с константой;
- вычисляет по заранее введенной программе.

В режиме «Программирование» микрокалькулятор позволяет выполнять следующие операции:

- ввод, редактирование и корректировку программы;
- хранение программы;
- производить до пяти обращений к подпрограмме внутри программы;

безусловный и условный переход по указанному адресу программы;

пошаговое прохождение программы в сторону увеличения или уменьшения адресов при отладке программы;

индикация кодов трех последовательных шагов программы и текущего состояния счетчика адресов.

Основные технические характеристики микрокалькулятора «Электроника Б3-21» приведены в табл. 1, назначение основных клавиш — в табл. 2, 3.

Время вычисления арифметических операций 0,5 с, логарифмических и тригонометрических функций 2 с, функции x^y не более 3,5 с.

Микрокалькулятор имеет группы клавиш: управления, обращения к регистрам памяти и выполнения вычислительных операций. Многие клавиши выполняют совмещенные операции, соответствующие двойной или тройной символике. Операции, обозначенные символом над клавишей, выполняются после нажатия префиксной клавиши Р, под клавишей — после нажатия префиксной клавиши F.

Память микрокалькулятора имеет постоянное запоминающее устройство (ПЗУ), долговременное запоминающее устройство (ДЗУ), и оперативное запоминающее устройство (ОЗУ).

ПЗУ служит для хранения стандартных программ, введенных в МК непосредственно на заводе, по которым выполняется нахождение тригонометрических и других функций.

ДЗУ имеет 60 ячеек памяти и служит для записи программы решения любой задачи.

ОЗУ состоит из семи адресуемых регистров памяти (клавиши с 2-й по 8-ю) и шести регистров стековой памяти с последовательной формой доступа к информации через регистр X. Стек кольцевой, использование стека позволяет составлять оптимальные программы и экономить программную память.

Оператор при вычислении и составлении программ имеет доступ к ячейкам памяти только ОЗУ и ДЗУ.

При операциях сложения и вычитания округление результата производится только в отдельных партиях машин, при умножении и делении — округление не производится.

Команда обращения к подпрограмме (ПП) выполняется на любом шаге программы, кроме 55, 65, 70, 80, 81, 91 и 92. В этих случаях вместо перехода по указанному адресу происходит переход к следующей команде, т. е. требуемый адрес перехода пропускается.

При переполнении разрядной сетки или выполнении некорректной операции в левом разряде индикатора высвечивается нуль.

Вычисление функции x^y при $x < 0$ воспринимается микрокалькулятором как некорректная операция даже в том случае, если x^y — действительное число.

Если при выполнении команда условного перехода проверяемое условие выполняется, то происходит переход к следующей ко-

манде. Однако необходимо учитывать, что если эта команда — цифра, то ее значение приписывается к числу в регистре X; содержимое регистра Y при этом не меняется.

Если проверяемое условие не выполняется, происходит переход по указанному адресу. Значение имеющейся там команды-цифры заносится в регистр X, а содержимое регистра X передается в регистр Y.

При выключении питания содержимое всех регистров памяти микрокалькулятора, в том числе и программной, стирается.

К недостаткам микрокалькулятора «Электроника Б3-21» следует отнести отсутствие клавиш для вычисления обратных тригонометрических функций и вычисления прямых тригонометрических функций по аргументу, выраженному только в радианной мере.

Программу для решения геодезической задачи обычно записывают в формализованный бланк.

Пример. Составить программу (табл. 6) для обработки тахеометрического хода (теодолит Т30).

Исходные данные: $K=0,996$; $H_c=141,05$; $i=1,40$; $\text{ПК}_c=0$; $l=125,2$; $a=-3^{\circ}45,3'$; $v=2,0$.

Результат решения:

$H_i=134,32$; $\text{ПК}_i=124,2(1+24)$.

Шаги 01 и 02 используют для введения соответственно числа градусов и числа минут угла наклона, на индикаторе высвечивается сначала -3 , потом $-45,3$; шаг 51 — для ввода высоты инструмента 1,40; шаг 53 — высоты визирования 2,00. Шаг 61 используют для индикации высотной отметки 134,3184; шаг 70 — для индикации пикетажа 124,1643.

В табл. 6 приведена программа обработки тахеометрического хода по линейному алгоритму, блок-схема которого представлена на рис. 3.

Распределение регистров памяти

Регистр:	2	3	4	5	6	7	8
Величина:	K	H_c	ПК_c	60	180	a°, a_p	d_r

Программа занимает 70 ячеек памяти ДЗУ и семь регистров памяти ОЗУ. Она позволяет обрабатывать полевые журналы тахеометрических ходов или тахеометрической съемки без каких-либо промежуточных записей при условии, что углы наклона измерены в градусах, минутах и долях минут.

Исходные данные K , H_c , ПК_c и числа (константы) 60 и 180 вводятся перед началом вычислений путем набора их значений и нажатия числовых клавиш, соответствующих номеру регистра памяти ОЗУ.

Ввод результатов измерений должен производиться в следующем порядке:

a° — число градусов угла наклона с учетом знака;

a' — число минут угла наклона с учетом знака;

l — отсчет по дальномерной рейке;

i — высота инструмента;
 v — высота визирования.

Для обработки следующей точки тахеометрического хода нажимают клавишу В/0, которая обеспечивает начало счета по программе с первого шага, и вводят a° , a' , l , i , v .

Если точка стояния прибора изменилась, то в ячейки 3 и 4 ОЗУ вводят новые значения H_c и ΠK_c и только после этого вводят измеренные величины.

Данная программа позволяет обрабатывать не только тахеометрический ход, но и тахеометрическую съемку. В этом случае в регистре 4 ОЗУ пикет станции не вводится и после индикации высоты точки H_i нажимают клавишу В/0 и приступают к обработке следующей точки.

Если программа вводится с первого шага, то предварительно нажимают клавишу В/0, если с любого другого, то нажимают клавишу БП и клавиши, формирующие номер начального шага. Так, например, после нажатия БП, F и X программа будет записываться с 25-го шага, а если нажать клавиши БП и X — то с 26-го шага, и т. д.

Ввод программы контролируется оператором по индикатору, где одновременно высвечиваются код операции (1-й и 2-й разряды) и коды двух предыдущих команд (в 4; 5 и 7; 8 разрядах).

Таблица 6
Программа обработки тахеометрического хода

Шаг	Клавиша	Код	Шаг	Клавиша	Код
01	P7	71	34	C/П	78
02	C/П	78	35	×	26
03	↑	06	40	P8	81
04	F5	52	41	↑	06
05	÷	36	42	F7	72
10	↑	06	43	Pe^{ix}	03
11	F7	72	44	÷	36
12	+	96	45	F8	82
13	↑	06	50	×	26
14	P л	23	51	C/П	78
15	×	26	52	+	96
20	↑	06	53	C/П	78
21	F6	62	54	--	86
22	÷	36	55	F3	32
23	P7	71	60	+	96
24	P cos	83	61	C/П	78
25	↑	06	62	F4	42
30	×	26	63	↑	06
31	↑	06	64	F8	82
32	F2	22	65	+	96
33	×	26	70	C/П	78

В 11-м и 12-м разрядах индикатора высвечивается номер шага введенной операции.

При следующей команде коды введенных операций перемещаются слева направо, т. е. из 4-го и 5-го разрядов в 7-й и 8-й, из 1-го и 2-го — в 4-й и 5-й.

При составлении разветвляющихся и циклических программ используют клавиши условных ($X=0$, $X \neq 0$, $X \geq 0$, $X < 0$) и безусловных переходов (БП, ПП).

Во всех указанных случаях после команды перехода необходимо указать адрес (номер шага) программы для продолжения вычисления. При условных переходах содержимое РгХ проверяется на выполнение поставленного условия: если условие выполняется («ДА»), то очередной шаг программы пропускается и вычисления продолжаются по программе. Если условие не выполняется («НЕТ»), то вычисления начнутся с шага, указанного после команды условного перехода.

После ввода программы в МК, необходимо ее проверить (отладить). Для этого составляется и решается любым другим способом отладочный пример. Решение его на микрокалькуляторе по программе в пошаговом режиме позволит убедиться в том, что она составлена верно или выявить и устранить ее ошибки. В этом случае все результаты вычислений каждого шага программы высвечиваются на индикаторе.

При вводе отрицательных углов в градусной мере знак минус необходимо ставить перед числами градусов и минут. Например, угол $-2^{\circ}25,4'$ необходимо вводить как два отрицательных числа -2 и $-25,4$.

Геодезические задачи, программы которых превышают емкость ОЗУ (95 шагов), целесообразно решать по частям, т. е. необходимо составлять несколько отдельных программ. При этом надо стремиться к тому, чтобы максимально использовать регистры памяти ОЗУ для хранения промежуточных результатов.

В прил. 2 приведена программа вычисления координат точек теодолитного хода по уравненным дирекционным углам. При этом регистры памяти ОЗУ 3; 5 и 6 используются для хранения промежуточных результатов вычислений: α_i , x_i , y_i .

При решении обратных геодезических задач на МК «Электроника Б3-21» функцию $\text{arctg}x$ можно вычислять по программе, приведенной в [6].

Расчет функции $\alpha = \text{arctg}x$ производится методом итерации в диапазоне $-\pi/2 \leq \alpha \leq \pi/2$ при $-\infty < x < \infty$ по формуле

$$\alpha_i = \alpha_{i-1} + \Delta\alpha,$$

где

$$\Delta\alpha = (x - \tan \alpha_{i-1}) / (1 + \tan \alpha_{i-1}).$$

В программе начальное значение при итерации принято $\alpha_0 = \pm 1$ (знак «+» принят при $x > 0$, знак «—» при $x < 0$). Время

вычисления 1,5 мин, относительная погрешность $5 \cdot 10^{-6}$. Результаты расчета угла α индицируются в градусах и долях градуса. Одновременно в регистре З ОЗУ хранится значение вычисленного угла α в радианах.

Порядок работы оператора при вычислении функции $\alpha = \arctg x$ изложен в прил. 3.

§ 9. Вычисления на микрокалькуляторе «Электроника Б3-34»

Микрокалькулятор «Электроника Б3-34», созданный на базе Б3-21, является его улучшенным вариантом. Кроме операций, выполняемых «Электроникой Б3-21», микрокалькулятор Б3-34 позволяет:

записывать информацию в 14 регистров памяти ОЗУ и 4 регистра стековой памяти;

записывать в память ДЗУ программу объемом до 98 шагов; вычислять прямые тригонометрические функции по аргументу в радианах и в градусах;

вычислять обратные тригонометрические функции в радианах и в градусах;

восстанавливать предыдущий результат вычислений; производить цепочные вычисления.

расширены возможности в области программирования. Для этого в микрокалькуляторе предусмотрены:

команды прямого, косвенного, условного и безусловного перехода;

команды организации циклов;

команды косвенной индикации содержимого регистров памяти.

Основные технические характеристики микрокалькулятора «Электроника Б3-34» приведены в табл. 1, назначение основных клавиш — в табл. 2, 3. Клавиши совмещенные, операции выполняются с учетом двух префиксных клавиш: F, K.

Стековая память состоит из четырех регистров: X, Y, Z, T. Регистры X и Y являются операционными (рабочими).

Передвижение информации в регистрах (Pr) стековой памяти осуществляется командами двух клавиш:

1. Клавиша ввода ↑ передвигает информацию по схеме

$$Pr X \rightarrow Pr Y \rightarrow Pr Z \rightarrow Pr T,$$

при этом предыдущее содержимое регистра T стирается.

2. Клавиша кольцевой передачи информации передвигает числа в обратном порядке, т. е.

$$Pr X \rightarrow Pr T \rightarrow Pr Z \rightarrow Pr Y \rightarrow Pr X,$$

при этом содержимое всех регистров сохраняется.

Для очистки («обнуления») всех регистров стековой памяти необходимо нажать клавиши Сx ↑↑↑.

При выполнении некорректной операции на индикаторе высвечивается сигнал ЕГГОГ.

При составлении разветвляющихся программ и подпрограмм целесообразно пользоваться командами прямых и косвенных переходов, косвенной индикации, вызова и записи.

При исполнении команды косвенного безусловного или условного перехода производится модификация (изменение) адреса, хранящегося в адресуемом регистре. Если команда содержит номер одного из регистров 0, 1, 2 и 3, то при исполнении команды из содержимого регистра вычитается 1; если номер 4, 5, 6, то к содержимому регистра прибавляется 1; содержимое регистров 7, 8, 9, А, В, С и Д не изменяется.

При составлении программ циклических вычислений целесообразно пользоваться клавишами L0, L1, L2, L3.

При обращении к указанным регистрам из их содержимого вычитается 1 и производится анализ оставшегося числа: если содержимое регистра не равно нулю, вычисление по циклу продолжается, если равно нулю — останавливается или переходит по адресу, указанному в программе.

Пример. Составить программу (табл. 7) для определения координат точек для детальной разбивки кривых по формулам:

$$x = R \sin \theta;$$

$$y = 2R \sin^2 (\theta/2),$$

где R — радиус кривой; θ — угол поворота.

Исходные данные: $R=225$ м; $0 < \theta \leq 45^\circ$; $\Delta\theta=1^\circ$.

В табл. 7 приведена программа вычисления координат x и y с применением команды организации циклов (клавиши F; L0).

Шаг 05 используют для индикации x_i , 16 — для индикации y_i . На шаге 17 осуществляют переход к продолжению вычислений. Шаг 20 — останов вычислений.

Команда клавиш F,L0 обеспечивает циклические вычисления координат точек с шагом изменения угла $\Delta\theta=1^\circ$. Так как при каждом обращении в регистр памяти 0 его содержимое уменьшается

Таблица 7
Программа вычисления точек для разбивки кривых

Шаг	Клавиша	Код	Шаг	Клавиша	Код
01	ИП0	60	11	FX ²	22
02	П2	42	12	ИП1	61
03	F sin	11	13	×	12
04	ИП 1	61	14	2	02
05	×	12	15	×	12
06	С/П	50	16	С/П	50
07	ИП2	62	17	F LO	5Г
08	2	02	18	00	00
09	÷	13	19	Cx	0Г
10	F sin	11	20	С/П	50

Результаты вычислений

θ , градус	Координаты		θ , градус	Координаты	
	x	y		x	y
45	159,09303	65,900974	2	7,8523863	$1,370639 \cdot 10^{-1}$
44	156,29814	63,148544	1	3,9267911	$3,4268586 \cdot 10^{-2}$
43	153,44963	60,445412	0	0	0
...			

на 1, то необходимо перед вычислением в этот регистр ввести максимальное значение угла θ .

За начало координат принимается начало кривой. Положительное направление координатных осей совпадает с направлением кривой.

Вычисления по программе выполняются в следующем порядке: установить переключатели Р—Г в положение «ГРАДУСЫ» (Г); набрать и ввести исходные данные: θ — в Рг 0; R — в Рг 1; перевести программу на нулевой шаг, нажав клавишу В/0; пустить программу на счет, нажав клавишу С/П; записать первый результат вычислений x_1 ; нажать клавишу С/П и записать второй результат y_1 .

Клавишу С/П нажимают до тех пор, пока в регистре Х не появится 0, что является признаком окончания вычислений. Результаты приведены в табл. 8.

В прил. 4—14 приведены программы решения геодезических задач с кратким описанием их содержания, реализуемых формул, числовых примеров; изложен порядок работы оператора.

Программы позволяют решать геодезические задачи при условии, что углы измерены в градусах и минутах. Если углы измерены с точностью до секунд, то предварительно их необходимо перевести в доли минут.

Объем памяти микрокалькулятора «Электроника Б3-34» позволяет решать практически все задачи инженерной геодезии, а также многие задачи астрономии, высшей геодезии и математической обработки результатов измерений, определение астрономического азимута, вычисление экваториальных координат Солнца, решение обратной геодезической задачи на сфероиде, вычисление вероятности нахождения ошибок в заданном интервале известного закона их распределения, решение системы линейных уравнений (до пяти) и др.

§ 10. Микрокалькуляторы серии «Электроника»: МК-54, МК-56, МК-61, МК-52

«Электроника МК-54»

Микрокалькулятор с программным управлением «Электроника МК-54» является аналогом рассмотренного выше микрокалькулятора Б3-34, имеет одинаковые с ним технические характеристики, расположение клавиш и единые коды операций. Различия имеются в размерах, системе питания и обозначении одиннадцати клавиш (табл. 9), которые предназначены для выполнения одинаковых операций.

Указанные различия носят не принципиальный характер, поэтому все программы, составленные для решения геодезических задач на микрокалькуляторе «Электроника Б3-34», могут быть полностью использованы при вычислении на микрокалькуляторе «Электроника МК-54».

«Электроника МК-56»

Выпускаемый отечественной промышленностью настольный микрокалькулятор «Электроника МК-56» является аналогом микрокалькулятора «Электроника МК-54» и программно совместим с ним. Микрокалькулятор отличается повышенной надежностью и может работать круглосуточно без выключения от электрической сети напряжением 220 В частотой 50 Гц. На решение геодезических задач, с учетом ввода исходной информации, затрачивается от 0,5 до 1,5 мин в зависимости от их сложности.

Все программы, приведенные в прил. 4—14, можно применять для решения геодезических задач на микрокалькуляторе «Электроника МК-56».

«Электроника МК-61»

Программируемый микрокалькулятор «Электроника МК-61» является модификацией микрокалькулятора «Электроника МК-54» с расширенными функциональными возможностями. Кроме операций, выполняемых на МК-54, микрокалькулятор МК-61 позволяет

Таблица 9

Обозначения клавиш одинаковых операций

№ п/п	«Электроника Б3-34»	«Электроника МК-54»	№ п/п	«Электроника Б3-34»	«Электроника МК-54»
1	ИП	$\Pi \rightarrow X$	7	$X \xrightarrow{\leftarrow} Y$.
2	П	$X \rightarrow \Pi$	8	A	a
3	arc sin	\sin^{-1}	9	B	b
4	arc cos	\cos^{-1}	10	C	c
5	arctg	\tg^{-1}	11	D	d
6	↑	$B \uparrow$			

выделять целую и дробную часть числа, модуль, наибольшее из двух чисел, знак числа. Можно выполнять логические и арифметические операции по модулю 2, переводить угловые величины, выраженные в минутах и секундах в доли градуса и обратно. Имеется датчик случайных чисел от 0 до 1.

Микрокалькулятор «Электроника МК-61» имеет 15 регистров памяти ОЗУ и позволяет записывать программы длиной до 105 шагов. Это первый отечественный микрокалькулятор, выполняющий логические операции, результаты которых индицируются не только в цифровом, но и в символьном виде.

Объем памяти ОЗУ микрокалькулятора позволяет полностью автоматизировать уравнивание геодезического четырехугольника и ряда, состоящего из пяти треугольников, решать системы уравнений (до пяти) и другие геодезические задачи.

Микрокалькулятор МК-61 программно совместим с микрокалькуляторами Б3-34, МК-54 и МК-56 с учетом обозначения клавиш (табл. 9). Команды КП↑ и КИП↑ для Б3-34 для микрокалькулятора МК-61 непригодны.

«Электроника МК-52»

Программируемый микрокалькулятор «Электроника МК-52» имеет косвенную память ОЗУ, позволяющую хранить при отключенном питании пять программ до 98 шагов каждая. При необходимости любая из этих программ перезаписывается в ОЗУ и используется для решения задач. При этом числа, занесенные в регистры памяти, сохраняются и могут быть использованы при вычислениях по следующей программе.

Функциональные возможности микрокалькулятора «Электроника МК-52» аналогичны МК-61. Однако сохранение программ при отключении питания значительно расширяет возможности для автоматизации решения геодезических задач.

Глава 4.

Геодезические вычисления с помощью ЭВМ

По объему программной памяти, функциональным возможностям, быстродействию и другим техническим характеристикам ЭВМ значительно превосходят программируемые микрокалькуляторы, клавиатура их содержит до 70 клавиш, при этом каждая клавиша выполняет одну операционную команду. Градусы, минуты и секунды при вводе можно разделить запятой, т. е. вводить одной строкой.

Программы решения геодезических задач после их ввода можно записывать на машины носители (магнитные карты, магнитные ленты) для хранения и последующего многократного использования. Объем памяти ОЗУ можно увеличивать за счет подключе-

ния внешнего устройства — стандартной магнитной ленты МК-60. Введенная информация после выключения питания ЭКВМ сохраняется, и вычисления могут быть продолжены после включения питания.

Индикаторное устройство ЭКВМ позволяет одновременно высвечивать содержимое двух-трех регистров памяти, что очень удобно для решения геодезических задач. Так, например, можно одновременно индицировать координаты x , y и высоту H при обработке тахеометрического хода или координаты x , y и дирекционный угол α при обработке теодолитного хода и т. п.

Объем программной памяти ЭКВМ позволяет не только производить предварительную обработку полевых журналов геодезических измерений, но и выполнять более сложные вычисления при математической обработке результатов измерений, в том числе уравнивать параметры ходов и сетей при съемках, создании геодезического обоснования строительства и т. п.

Через специальные каналы ввода-вывода к ЭКВМ могут подключаться различные периферийные устройства, в том числе электрические пишущие машинки и графопостроители. При этом результаты вычислений выдаются в виде таблиц (каталогов) или графиков (профилей). Поэтому целесообразно на базе ЭКВМ организовывать вычислительные группы для обработки полевых измерений в экспедициях (партиях) и изыскательских подразделениях.

Ниже рассматриваются основные технические характеристики, особенности программирования и решения геодезических задач на наиболее распространенных ЭКВМ: «Электроника Т3-16», «Электроника Д3-28», «Искра-125».

§ 11. Вычисления на ЭКВМ «Электроника Т3-16»

«Электроника Т3-16» является малогабаритной специализированной вычислительной машиной с микропрограммным управлением. Она предназначена для выполнения сложных научных и инженерных расчетов как по заранее составленным программам, так и вручную. На базе блока связи и управления с помощью ЭКВМ можно формировать вычислительные комплексы с автоматическим вводом и выводом информации на пишущее устройство.

Входной символьно-кодовый язык ЭКВМ прост, быстро усваивается и не требует специальной подготовки операторов.

ЭКВМ «Электроника Т3-16» имеет следующие технические характеристики:

система счисления ввода и вывода десятичная;

диапазон представляемых чисел от 10^{-99} до 10^{99} ;

форма представления чисел — с фиксированной или плавающей запятой;

разрядность — 16 десятичных разрядов;

точность вычисления 10^{-10} ;

число знаков после запятой может изменяться с помощью клавиш от 1 до 10;

общий объем памяти 4 Кбит;

питание от сети 220 В, потребляемая мощность 100 Вт;

масса 18 кг.

В комплект ЭКВМ входит сборник программ, включающий 200 стандартных программ из различных областей науки и техники, в том числе геодезические задачи (вычисление площадей полигонов, азимутов направлений по астрономическим наблюдениям и т. п.).

Для хранения и многократного использования составленных программ прилагаются 20 магнитных карт размером 92×51 мм. Информационная емкость одной такой карты равна объему памяти ОЗУ машины.

Встроенный дисплей, выполненный на основе электроннолучевой трубки, позволяет контролировать правильность занесения программы и числовых данных в память машины. На индикацию может быть выведено одновременно содержимое всех трех рабочих регистров.

Составление программы не требует специального знания программирования, достаточно знать назначение каждой клавиши в соответствии с инструкцией по эксплуатации.

Составленную программу с пульта, имеющего 64 клавиши, вводят в ЭКВМ. В дальнейшем программу можно записать на магнитную карту, для этого ее вставляют в ЭКВМ и нажимают клавишу «ЗАПИСЬ». Пр повторном использовании программы ее вставляют в машину и нажимают клавишу «ВВОД». На запись и считывание информации с магнитной карты требуется не более 1 с.

Назначение основных клавиш и их символы приведены в табл. 4.

Вычисление тригонометрических функций производится по аргументу (в градусах или радианах), указанному в регистре X.

Результаты арифметических действий индицируются в регистре Y. При выполнении некорректных операций загорается лампочка, расположенная справа от экрана индикации.

Тригонометрические функции можно вычислять для углов от 0 до 360°, обратные тригонометрические функции вычисляют только для главных значений функции.

Например, $\cos 140^\circ = \cos 220^\circ = -0,766$, но $\arccos (-0,766) = 140^\circ$.

С помощью клавиши «К ПОЛЯР» можно решать обратную геодезическую задачу, при этом разности координат Δx и Δy размещаются соответственно в регистрах X и Y. После нажатия клавиши «К ПОЛЯР» в регистре X индицируется горизонтальное положение, а в регистре Y — дирекционный угол (от 0 до 180°). Если угол больше 180°, то высвечивается его дополнение до 360° со знаком «—». После ввода числа 360° и нажатия клавиши «+» получим в регистре Y истинное значение дирекционного угла в градусах.

Аналогичным образом решается прямая геодезическая задача с помощью клавиши «К ПРЯМ», при этом в регистр Y вводится дирекционный угол, а в регистр X — горизонтальное проложение. После нажатия указанной клавиши координаты x и y определяемой точки проиндицируются соответственно в регистрах X и Y.

Если при использовании команд переходов происходит смена знака страниц, то обязательно нужно указывать знак новой страницы.

Если при использовании команд условных переходов условие выполняется («ДА»), то программа продолжается со следующего шага. Если условие не выполняется («НЕТ»), то пропускаются два следующих шага и программа выполняется, начиная с третьего шага.

Возможность одновременной индикации содержимого всех трех рабочих регистров (X, Y, Z) делает ЭКВМ «Электроника Т3-16» особенно удобной для решения геодезических задач.

Пример. Составить программу вычисления и оценки точности коэффициента дальномера ДНТ.

Исходные данные: при определении коэффициента дальномера ДНТ произведено 8 измерений S_0 и β (табл. 10). Постоянное слагаемое прибора $C=0,11$ м. Допуск $m_K/K_{cp}=1/2000$.

Результаты вычислений: $K_{cp}=21\ 048,7$; $M=2,6$; $m_K/K_{cp}=0,000\ 35$.

Алгоритм решения задачи

1. Вычисление коэффициента дальномера

$$K = (S_0 - C) \beta,$$

где S_0 — горизонтальное проложение эталонного расстояния; C — постоянная дальномера; β — параллактический угол в делениях шкалы дальномера.

2. Вычисление среднего арифметического значения коэффициента

$$K_{cp} = [K_i]/n.$$

3. Вычисление средней квадратической погрешности определения коэффициента K по формуле

$$m_K = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n K_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n K_i \right)^2 \right]},$$

Таблица 10

Результаты измерений S_0 и β

№ п/п	S_0	β	№ п/п	S_0	β
1	359,875	58,527	5	240,052	87,703
2	263,855	79,778	6	264,020	79,771
3	239,980	87,788	7	287,931	73,090
4	215,935	97,533	8	359,875	58,515

где K_i — значения коэффициента, вычисленные по результатам измерений; n — число измерений.

4. Вычисление относительной погрешности определения коэффициента: $m_K/K_{ср}$.

5. Сравнение полученного значения $m_K/K_{ср}$ с допустимой относительной погрешностью 1 : 2000.

6. Вычисление средней квадратической погрешности определения $K_{ср}$ по формуле $M = m_K/\sqrt{n}$.

Распределение регистров памяти

Регистр:	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>
Величина:	C	$K_{ср}$	m_K	ΣK_i	ΣK_i^2	n

Программа для вычисления коэффициента дальномера и оценки его точности представлена в табл. 11.

При команде «СТОП» шага 04 выполняется ввод C ; шага 08 — ввод S_{0i} ; шага 11 — ввод β_i ; шага 49 — индикация регистров X (0,000 50), Y ($m_K/K_{ср}$), Z (m_K); шага 54 — индикация X ($K_{ср}$), $Y(M)$, $Z(m_K/K_{ср})$ — результатов вычислений.

Используя команды 08—2,9 вычисляют ΣK_i и ΣK_i^2 . Команда условного перехода «ЕСЛИ МЕТКА» используется для продолжения вычисления после ввода величины β_n и нажатия клавиши «УСТ МЕТКИ».

В программе предусмотрен автоматический контроль при оценке точности определения $K_{ср}$ с помощью команды условного перехода «ЕСЛИ $X < Y$ ». При этом в регистре X размещается допустимая величина относительной погрешности $1 : 2000 = 0,0005$, в регистре Y — полученная величина $m_K/K_{ср}$.

Если полученная относительная погрешность $m_K/K_{ср}$ превышает допустимую, то ЭКВМ остановится по команде «СТОП» (шаг 49), при этом в регистре X индицируется число 0,000 50, а в регистре Y полученная величина $m_K/K_{ср}$.

Если величина $m_K/K_{ср}$ не превышает допуск, то вычисления заканчиваются по команде «СТОП» (шаг 54), при этом в рабочих регистрах X , Y , Z одновременно индицируются $K_{ср}$, M , $m_K/K_{ср}$ соответственно.

При необходимости среднюю квадратическую погрешность $K_{ср}$ можно получить на индикаторе после нажатия клавиши c .

Порядок работы оператора:

нажимают клавишу «КОНЕЦ» и вводят программу с клавиатуры или с магнитной карты;

нажимают клавишу «ПУСК» и вводят постоянную прибора C ; последовательно вводят все измеренные величины S_{0i} и β_i ;

после ввода последней измеренной величины β_n нажимают клавиши «УСТ МЕТКИ» и «ПУСК» — ЭКВМ автоматически переходит в режим вычисления и обработки результатов измерений;

вычисления заканчиваются одновременной индикацией полученных

Таблица 11

Программа вычисления коэффициента дальномера ДНТ

Шаг	Клавиша	Код	Шаг	Клавиша	Код
00	СБРОС	20	2a	—	4
01	0	00	2b	f	15
02	X → ()	23	2c	↑	27
03	d	17	2d	↓	01
04	СТОП	41	30	—	34
05	↑	27	31	↓	25
06	X → ()	23	32	÷	35
07	a	13	33	↓	25
08	СТОП	41	34	VX	76
09	ЕСЛИ МЕТКА	43	35	X → ()	23
0a	2	02	36	c	16
0b	3	03	37	↑ d	27
0c	↑	27	38	↑ f	17
0d	a	13	39	÷	27
10	—	34	3a	15	35
11	СТОП	41	3b	Y → ()	40
12	×	36	3c	÷	14
13	↑	27	3d	b	25
14	↓	25	40	↓	35
15	d	17	41	÷	21
16	+	33	42	,	00
17	Y → ()	40	43	0	00
18	d	17	44	0	00
19	:	25	45	0	05
1a	↓	25	46	5	00
1b	×	36	47	0	00
1c	i	01	48	ЕСЛИ X < Y	52
1d	H +	60	49	СТОП	41
20	БП	44	4a	ПУСК	47
21	0	00	4b	ПУСК	47
22	8	10	4c	KП ↑	22
23	d	17	4d	X → Y	30
24	↑	27	50	f	15
25	×	36	51	VX	76
26	i	15	52	÷	35
27	÷	35	53	ь	14
28	e	12	54	СТОП	41
29	X → Y	30	55	КОНЕЦ	46

ных результатов $K_{ср}$, M , $(m_K/K_{ср})$ в рабочих регистрах X , Y , Z соответственно.

§ 12. Вычисления на ЭКВМ «Искра-125»

«Искра-125» предназначена для выполнения сложных научно-технических расчетов по соответствующим программам. Объем памяти оперативного запоминающего устройства составляет 1024 байт, постоянного запоминающего устройства — 8192 байт. На индикаторе числа могут представляться как с фиксированной

Символы и сокращения на клавишиах ЭКВМ «Искра-125»

Обозначение	Выполняемая операция
НУ	Сброс всей оперативной памяти в нулевое положение
Р Сч	Ручной счет
В Пр	Ввод программы
С Пр	Счет по программе
Н	Набор и ввод информации при вычислении по программе
П	Обращение к подпрограмме
С	Стоп, пуск
СК	Сброс набранного числа, программного символа или переполнения
МК/МЛ	Ввод программы с магнитной карты или с магнитной ленты
СМК	Считывание с магнитной карты
ЗМК	Запись с магнитной карты
◊	Выдача на печать
А	Обращение к регистрам памяти с действительными числами
И	Обращение к индексным регистрам памяти
>, <, =	Проверка содержимого регистров памяти
М	Метка оператора
△	Переход к заданному оператору или подпрограмме
F	Специальный оператор
+ , - , × , ÷	Арифметические операции
÷	Обратное деление
↑	Возведение в целую степень
X ^Y	Возведение в любую степень
√	Извлечение квадратного корня
⇒	Итог операции и засылка его в ОЗУ
Зн	Изменение знака
	Модуль числа
Σ	Суммирование в регистрах памяти
sin, cos, tg	Вычисление прямых тригонометрических функций по аргументу в радианах
arc	Вычисление обратных тригонометрических функций в радианах в I четверти
hyp	Вычисление прямых гиперболических функций
Г→Р	Перевод из градусной меры в радианную
Р→Г	Перевод из радианной меры в градусную
e ^X	Вычисление экспоненты
In	Вычисление натурального логарифма
π	Передача числа π из ПЗУ в рабочий регистр
ln 10	Передача ln 10 из ПЗУ в рабочий регистр
Ц	Выделение целой части числа
(,)	Открывающая и закрывающая скобки

запятой и естественной форме, так и с плавающей в диапазоне от 10^{-64} до 10^{64} .

ЭКВМ выполняет арифметические действия, а также вычисляет логарифмические, тригонометрические и показательные функции. В режиме вычисления на индикаторе высвечиваются вводимые числа или результаты вычисления. В режиме программирования

одновременно индицируется до 68 символов вводимой или редактируемой программы.

Программирование выполняется на машинно-ориентированном языке, который определяется символами, операндами, операторами и правилами записи математических формул. Символы входного языка ЭКВМ и выполняемые операции представлены в табл. 12.

«Искра-125» может работать в комплексе с кассетным накопителем на магнитной ленте МК-60 и цифропечатающим устройством для вывода результатов счета на бумажную ленту в виде таблиц или массива чисел. Наличие кассетного накопителя МК-60 позволяет организовать геодезические вычисления с большими числовыми массивами (теодолитные, тахеометрические и нивелирные хода и т. п.). С помощью цифропечатающего устройства можно получать результаты геодезических расчетов в виде таблиц и списков координат, дирекционных углов и т. п. К ЭКВМ можно подключать графопостроитель «Искра 014-01». «Искра-125» работает в трех режимах: «Ввод программы»; «Счет по программе»; «Ручной счет».

В режиме «Ввод программы» можно выполнять следующие операции: ввод программы с клавиатуры; ввод программы с магнитной карты; индикацию введенной программы в символах входного языка (до 68 символов одновременно); редактирование введенной программы; запись программы на магнитную карту.

При вводе угловых измерений число градусов от минут отделяется запятой, например $359^{\circ}20'36,8''$ набирается и вводится как число 359, 20 368.

По характеру исполнения вычислительные операции делятся на четыре группы:

одноместные (\uparrow , $\sqrt{}$, $\exists n$ и т. п.);
двухместные (+, —, x , \div , X^Y и т. п.);
исполнительные (\Rightarrow), (,);
накопления и вывода (Σ , \diamond).

В ОЗУ ЭКВМ числа представляются в форме с плавающей запятой, при этом разрядность мантиссы числа и количество значащих цифр в результате вычислений могут изменяться оператором от 4 до 12 с помощью специальной клавиши. В ячейках памяти ОЗУ хранятся целые числа от 0 до 255, которые используются для нумерации остановов, записи меток операторов, номеров регистров памяти, а также в качестве параметров цикла.

Выражения И00—И15 являются командами обращения к 16 индексным регистрам памяти ОЗУ, выражения А00—А31 обеспечивают прямое обращение к регистрам памяти ОЗУ с действительными числами, а выражения АИ00—АИ15 — обеспечивают косвенное обращение к 256 регистром действительных чисел, при этом происходит к тому регистру, номер которого хранится в указанном индексном регистре. Такой принцип обращения к регистрам памяти позволяет производить засылку в них исходных данных или промежуточных результатов вычислений и осуществлять выборку содержимого соответствующего регистра.

В качестве операндов используются арифметические выражения, заключенные в скобках. Одноместные операции размещают после выражений, над которыми они действуют. Например, запись 42, 16285 ГР tg означает, что необходимо вычислить тангенс угла $42^{\circ}16'28,5''$.

При программировании используются команды (операторы) арифметических и логических операций, а также операторы переходов. Например, оператор $(A01\uparrow + A02\uparrow)\sqrt{\Sigma} A03$ выполняет следующие арифметические операции: возведение в квадрат, сложение, извлечение квадратного корня, суммирование полученного результата с содержимым регистра A03.

Логические операторы $>$, $=$, $<$, символы перехода

и метки M обеспечивают организацию циклических вычислений и переходов. Например, выражение $A03 < \pi \triangleright M04$ означает, что содержимое регистра A03 сравнивается с числом π и если условие выполняется, то осуществляется переход к оператору, имеющему метку M04. В противном случае происходит переход к оператору, следующему непосредственно за логическим оператором.

Безусловный переход к подпрограмме или метке также осуществляется с помощью символа перехода, например, выражение

$\triangleright P12$ означает переход к подпрограмме 12.

Пример. 1. Составить программу (табл. 13) для обработки ряда равноточных измерений x_i , используя формулы:

$$1) \bar{x} = \Sigma x_i / n$$

— среднее арифметическое;

$$2) m_x = \sqrt{\frac{\Sigma x_i^2 - (\Sigma x_i)^2 / n}{n - 1}}$$

— средняя квадратическая погрешность измерений;

$$3) M = m_x / \sqrt{n}$$

— средняя квадратическая погрешность арифметической средины (n — число измерений).

Распределение регистров памяти

Регистр:	A00	A01	A02	A03	A04	A05	A06	A07
Величина:	i	n	x_i	Σx_i	Σx_i^2	\bar{x}	m_x	M

Программа (см. табл. 13) предусматривает выполнение операции в следующей последовательности.

1. Первая строка — ввод 0 в регистр A00 и число измерений n в регистр A01.

2. Вторая строка — ввод измеренных величин и вычисление их суммы.

Программа вычислений

Метка	№ п/п	Оператор	Метка	№ п/п	Оператор
M00	1	A00	M00	5	A03 ÷ → A05 S
	2	HA01		6	(A04—A03 ↑ ÷)
	3	HA02			
	4	ΣA03			
		A02			
		ΣA04			
		(A01>A00+1) A00 Δ M00		7	÷(A01—1) √ → A06 S
					A06 ÷ √ → A07 S

На каждом символе Н в 1-й и 2-й строках ЭКВМ останавливается и ожидает набора числа на клавиатуре. На индикаторе в это время высвечивается номер набора Н01, Н02 и т. д.

3. Третья строка — вычисление квадратов введенных чисел x_i^2 и их суммы.

4. Операторы 4-й строки логические, они сравнивают содержимое 0-го и 1-го регистров ОЗУ. Если содержимое 0-го регистра меньше содержимого 1-го регистра, то по команде условного перехода и метке M00 осуществляется переход к оператору 2-й строки для ввода следующего значения x_i , при этом содержимое 0-го регистра увеличивается на 1. Указанный цикл вычислений продолжается до тех пор, пока содержимое регистра A00 станет равным регистру A01. После этого по команде оператора M00 ЭКВМ перейдет к строке 5.

5. Пятая строка — вычисление и индикация величины \bar{x} .

6. Шестая строка — вычисление m_x .

7. Седьмая строка — вычисление M .

Пример 2. По десяти измерениям базиса: 194,91; 194,89; 194,88; 194,90; 194,92; 194,90; 194,87; 194,90; 194,91; 194,92 вычислить:

D — среднее арифметическое значение базиса;

M — среднюю квадратическую погрешность арифметической средины.

М — среднюю квадратическую погрешность арифметической средины.
Результаты решения: $D = 194,90$; $m_D = 0,016$; $M = 0,005$.

Порядок работы оператора:

ввести программу;

нажать клавишу СПр;

Ввести число измерений n ;

последовательно ввести все измеренные величины D_i ;

после ввода последнего измерения ЭКВМ автоматически переходит к обработке результатов измерений, которая заканчивается индикацией D ; после нажатия клавиши S проиндицируется величина m_D , а после следующего нажатия клавиши S — величина M .

Пример 3. Составить программу (табл. 14) для решения обратной геодезической задачи (использовать команды переходов по условиям логики).

Исходные данные:

$$x_1 = 161\ 421,3; \quad x_2 = 163\ 952,5;$$

$$y_1 = 514\ 701,6; \quad y_2 = 513\ 914,8.$$

Результаты решения: $d = 2650,7$; $\alpha = 342^\circ 43' 57,5''$.

Расстояние d и дирекционный угол α определяются по формулам:

$$d = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}; \quad \alpha' = \arcsin(\Delta y/d),$$

где

$$\Delta x = x_2 - x_1; \quad \Delta y = y_2 - y_1.$$

Переход от угла α' к дирекционному углу α осуществляется по формулам:

$$\begin{aligned} \alpha &= \alpha', \text{ если } \alpha' > 0 \text{ и } \Delta x > 0; \\ \alpha &= \pi - \alpha', \text{ если } \alpha' > 0 \text{ и } \Delta x < 0; \\ \alpha &= \pi - \alpha', \text{ если } \alpha' < 0 \text{ и } \Delta x < 0; \\ \alpha &= 2\pi - \alpha', \text{ если } \alpha' < 0 \text{ и } \Delta x > 0. \end{aligned}$$

Распределение регистров памяти

Регистр:	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
Величина:	x_1	y_1	x_2	y_2	Δx	Δy	d	$\sin \alpha'$	α'	α

Действия оператора:

ввести программу (табл. 14);

нажать клавишу СПр;

ввести исходные данные: $x_1; y_1; x_2; y_2$;

после ввода y_2 счет заканчивается индикацией расстояния d , после нажатия клавиши S — индикацией дирекционного угла α в градусной мере (градусы, минуты, секунды).

Таблица 14

Программа решения обратной геодезической задачи

Метка	Оператор	Пояснение
	HA00 HA01 HA02 HA03 A02—A00→A04 A03—A01→A05	Ввод $x_1; y_1; x_2; y_2$ Вычисление Δx Вычисление Δy
M00	(A04↑+A05↑) $\sqrt{\quad}$ → A06 S A05÷A06→A07 arc sin→A08 A07>0>D M00 A07<0>D M01	Вычисление и индикация d Вычисление α'
M01	A04>0>D M02 A04<0>D M03	—
M02	A04>0>D M04 A04<0>D M03 A08→A08>D M05	—
M03	π —A08→A09>D M05	Угол α в I четверти
M04	A08+2× π →A09>D M05	Угол α во II или III четверти
M05	A09 PG S	Угол α в IV четверти Индикация α в градусной мере

§ 13. Вычисления на микроЭВМ «Электроника ДЗ-28»

«Электроника ДЗ-28» предназначена для автоматизации сложных научно-технических расчетов и построения информационно-справочных систем различного назначения. Она является модификацией ранее выпущенных миниЭВМ «15 ВСМ-5» и «Электроника С-50» и имеет с ними программную совместимость. «Электроника ДЗ-28» может работать в сопряжении с электрическими пишущими машинками, перфоратором ПЛ-150 и фотосчитывающей установкой FS-150. В качестве внешних устройств могут быть использованы координатографы и графопостроители для оформления результатов геодезических измерений. Предусмотрена возможность транскрипции различных машинных языков на язык микроЭВМ «Электроника ДЗ-28», которая имеет следующие технические характеристики:

объем памяти ОЗУ от 16 до 128 Кбайт (в зависимости от модификации);

язык программирования — макроассемблер «Бейсик»;

система счисления — десятичная и шестнадцатиричная;

алфавитно-цифровой дисплей;

форма представления чисел — с плавающей запятой;

имеется встроенный накопитель на магнитной ленте МК-60;

питание 220 В, масса 24 кг, потребляемая мощность 200 Вт.

Вычисления можно выполнять в трех режимах: вручную с клавиатуры; по микропрограммам, хранящимся в ПЗУ; по программам, вводимым непосредственно перед работой с клавиатуры, магнитной ленты или перфоленты.

ЭВМ выполняет арифметические действия в операционных регистрах ОЗУ и косвенной памяти, вычисляет прямые и обратные тригонометрические и гиперболические функции, производит преобразование координат (поларные в прямоугольные, прямоугольные в поларные). Тригонометрические функции определяют по аргументу, выраженному в градусах и долях градуса. При геодезических вычислениях необходимо пользоваться подпрограммой перевода угловых минут и секунд в доли градуса. В этом случае при вводе угловых величин необходимо отделять число градусов от минут запятой. Например, угол $57^{\circ}28'24''$ вводится как число 57,28241.

Результаты расчетов выводятся на два операционных регистра X и Y, содержание которых индицируется на дисплее и может печататься на электрической машинке или набиваться на перфоленту.

Предусмотрена возможность печати программы одновременно с ее вводом в микроЭВМ, а также печать программы, хранящейся в памяти ОЗУ. При включении питания ОЗУ автоматически устанавливается в режим, позволяющий одновременно хранить программу длиной 1024 шага и 3872 числа. При необходимости оператор с клавиатуры может устанавливать другие соотношения в хранении информации.

При вводе и редактировании программы на экране дисплея может одновременно индицироваться 24 строки, содержащие 1920 символов.

В качестве математического обеспечения микроЭВМ прилагается 200 стандартных программ из различных областей науки и техники. В ЦНИИГАиКе разработано 40 программ для решения типовых геодезических задач на миниЭВМ «15 ВСМ-5», которые практически могут применяться при расчетах на «Электронике ДЗ-28».

При решении полярной засечки удобно пользоваться клавишей «ПОЛ В ДЕК». При этом дирекционный угол вводится в регистр X, а расстояние — в регистр Y. После нажатия указанной клавиши в регистрах X и Y индицируются соответственно координаты x и y определяемой точки. Аналогично решается обратная геодезическая задача с помощью клавиши «ДЕК В ПОЛ», при этом в регистрах X и Y одновременно индицируются дирекционный угол и расстояние. Если дирекционный угол больше 180° , то в регистре X прондцируется его дополнение до 360° со знаком «—».

В системе команд имеются условные и безусловные переходы, команды передачи управления через заданное число шагов, переход к указанной метке.

Технические возможности микроЭВМ «Электроника ДЗ-28» позволяют создавать вычислительные комплексы для обработки геодезической информации, значительно экономят время и уменьшают трудоемкость. В дальнейшем после внедрения в производство полевых регистраторов цифровой информации, с помощью указанной микроЭВМ можно будет обрабатывать геодезические измерения без ручного ввода исходной информации с клавиатуры.

Приложения для решения геодезических задач на микрокалькуляторе «Электроника Б3-21»

1. Обработка тахеометрического хода (съемки)

Программа (табл. 15) состоит из 65 команд и позволяет вычислять высоты и пикетаж точек тахеометрического хода (съемки), выполняемого с помощью тахеометра типа «Дальта», т. е. когда измеряют горизонтальное расстояние.

В программе реализованы формулы

$$H_i = H_c + Kd_t \operatorname{tg} \alpha + i - v;$$

$$\text{ПК}_i = \text{ПК}_c + Kd_t,$$

где d_t — измеренное горизонтальное расстояние.

Распределение регистров памяти микрокалькулятора

Регистр:	2	3	4	5	6	7	8
Величина:	K	60	180	H_c	ПК_c	α°	d_t

Таблица 15

Программа обработки тахеометрического хода (съемки)

Шаг	Клавиша	Код	Шаг	Клавиша	Код
01	P7	71	34	F2	22
02	C/П	78	35	X	26
03	↑	06	40	↑	06
04	F3	32	41	C/П	78
05	÷	36	42	+	96
10	↑	06	43	↑	06
11	F?	72	44	C/П	78
12	+	96	45	-	86
13	↑	06	50	↑	06
14	Pπ	23	51	F5	52
15	X	26	52	+	96
20	↑	06	53	C/П	78
21	F4	42	54	F8	82
22	÷	36	55	↑	06
23	Pe ^{lx}	03	60	F2	22
24	÷	36	61	X	26
25	↑	06	62	↑	06
30	C/П	78	63	F6	62
31	P8	81	64	+	96
32	X	26	65	C/П	78
33	↑	06			

После ввода констант и программы нажимают клавиши Р, РР, В/0 и набирают на клавиатуре исходные данные для вычисления высот и пикетажа по каждой точке в следующем порядке:

a° — число градусов угла наклона;

a' — число минут угла наклона;

d_r — измеренное горизонтальное расстояние;

i — высота инструмента;

v — высота визирования.

Ввод исходных данных для новой точки начинается после нажатия клавиши В/0.

Пример. Составить программу обработки тахеометрического хода.

Исходные данные: $K=0,999$; $H_c=200,00$; $\text{ПК}_c=125(1+25)$; $a=4^\circ 30,2'$; $d_r=100,5$; $i=1,40$; $v=2,00$.

Если съемка следующей обрабатываемой точки происходила с новой точки стояния теодолита, то необходимо предварительно ввести новые исходные данные: H_c и ПК_c (п. 7 табл. 16).

2. Вычисление координат точек теодолитного хода

Программа (табл. 17) позволяет вычислить координаты точек теодолитного хода по уравненным дирекционным углам.

В программе реализованы формулы:

$$\alpha_{i+1} = \alpha_i - 180^\circ + \beta_l;$$

Таблица 16

Порядок работы оператора при обработке тахеометрического хода (съемки)

№ п/п	Выполняемая операция	Клавиша	Индцируемое число
1	Включить микрокалькулятор	ВКЛ	0
2	Набрать константы и занести их в регистры памяти 03У: K 60 180	P2 P3 P4	0,999 60 180
3	Перевести в режим «Программирование»	Р РП	00
4	Занести программу в соответствии с табл. 15	Р РР	00
5	Перевести в режим «Вычисление»	В/0	0
6	Перевести программу на нулевой шаг	В/0	0
7	Набрать исходные данные для точки стояния теодолита и занести их в регистры памяти 03У: H_c ПК_c	P5 P6	200,0 125,0
8	Набрать и ввести исходные данные: α° α' d_g i v	C/П C/П C/П C/П C/П	4 30,2 100,5 1,40 2,00
9	Индикация значения H_i	C/П	207,3074
10	Индикация значения ПК_i		225,3995
11	Для обработки следующей точки нажать клавишу В/0 и выполнить пункты 8—10	В/0	

$$x_{i+1} = x_i + d \cos \alpha_{i+1};$$

$$y_{i+1} = y_i + d \sin \alpha_{i+1},$$

где α_{i+1} — дирекционный угол последующей стороны; β_l — левый измеренный горизонтальный угол; d — длина стороны.

Если измерялись правые углы β , то знаки в формуле для вычисления α_{i+1} необходимо изменить на обратные; при этом в шаге 13 табл. 18 необходимо поставить минус (-), в шаге 20 — плюс (+).

Распределение регистров памяти микрокалькулятора

Регистр:	2	3	4	5	6	7	8
Величина:	d	$a_{\text{исх}}$	α°	x_h	y_h	60	180

Программа вводится двумя частями: сначала с 1 до 53 шага, после нажатия клавиш Р, РР, БП, 7, Р и РП вводится подпрограмма перевода градусной меры угла в радианную с 74 по 0 шаг.

Ввод исходных данных производится в следующем порядке: α° — число градусов исходного дирекционного угла;

α' — число минут исходного дирекционного угла;

β° — число градусов горизонтального угла;

β' — число минут горизонтального угла;

Таблица 17

Программа вычисления координат точек теодолитного хода

Шаг	Клавиша	Код	Шаг	Клавиша	Код
01	ПП	68	42	↑	06
02	7	74	43	F2	22
03	P3	31	44	×	26
04	C/П	78	45	↑	06
05	ПП	68	50	F6	62
10	7	74	51	+	96
11	↑	06	52	P6	61
12	F3	32	53	C/П	78
13	+	96	—	P, РР, БП, 7,	—
14	↑	06	74	P, РП	—
15	P _π	23	75	P4	41
20	—	86	80	C/П	78
21	P3	31	81	↑	06
22	P cos	83	82	F7	72
23	↑	06	83	÷	36
24	C/П	78	84	↑	06
25	P2	21	85	F4	42
30	×	26	90	+	96
31	↑	06	91	P _π	23
32	F5	52	92	×	26
33	+	96	93	↑	06
34	P5	51	94	F8	82
35	C/П	78	95	÷	36
40	F3	32	—0	B/0	48
41	P sin	93			

d — длина стороны хода.

При необходимости дирекционный угол (в радианах) текущей стороны ходы можно проиндицировать нажатием клавиши F3.

После ввода величины d вычисление заканчивается индикацией координаты x , а после нажатия клавиши C/П — координаты y .

Для обработки второй и последующих точек нажимают клавиши БП, F, ↑ и вводят данные: β° , β' , d .

Пример: Исходные данные: $\alpha_{\text{исх}} = 180^\circ 00'$; $x_n = 0$; $y_n = 0$; $\beta_1 = 90^\circ 00'$; $\beta_2 = 269^\circ 59'$; $\beta_3 = 270^\circ 01'$; $\beta_4 = 270^\circ 00'$; $d_1 = 100$ м; $d_2 = 99,9$ м; $d_3 = 100,1$ м; $d_4 = 100,0$.

Результаты решения:

$x_1 = 0$; $x_2 = -99,90$; $x_3 = -99,90$; $y_1 = +100,0$; $y_2 = +100,03$; $y_3 = -0,07$; $x_4 = +0,10 (+9,997 \cdot 10^{-2})$; $y_4 = -0,07 (-7,093 \cdot 10^{-2})$.

3. Решение обратной геодезической задачи

В связи с тем что в ПЗУ микрокалькулятора «Электроника Б3-21» отсутствуют программы вычисления обратных тригонометрических функций (нет клавиши arc), решение обратной геодезической задачи целесообразно выполнять по двум программам.

Пример. Исходные данные:

$$x_1 = 2450,05; x_2 = 2531,04;$$

$$y_1 = 1367,82; \quad y_2 = 5717,72.$$

Результаты решения по программам:
табл. 19: $\operatorname{tg} \alpha = 53,70908$; $d = 4350,653$ м.
табл. 21: $\alpha = 88,933^{\circ}33' = 88^{\circ}56'00,01''$

По программе (табл. 19) вычисляют $\operatorname{tg} \alpha$ и расстояние d по формулам

$$\operatorname{tg} \alpha = \Delta y / \Delta x; \quad d = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2},$$

где $\Delta x = x_2 - x_1$; $\Delta y = y_2 - y_1$; x_1 ; y_1 ; x_2 ; y_2 — координаты исходных точек.

Порядок работы оператора при вычислении $\operatorname{tg} \alpha$, d и α изложен в табл. 20 и 22.

По программе табл. 21 вычисляют угол α в I четверти по формуле $\alpha = \operatorname{arctg} \alpha$.

Переход от угла α к дирекционному углу осуществляется по известным формулам.

Таблица 18

Порядок работы оператора при обработке теодолитного хода

№ п/п	Выполняемая операция	Клавиша	Индцируемое число
1	Включить микрокалькулятор	ВКЛ	0
2	Набрать исходные данные и константы и занести их в регистры памяти:		
	x_n	P5	0
	y_n	P6	0
	60	P7	60
	180	P8	180
3	Перевести в режим «Программирование»	P, РП	00
4	Занести программу в соответствии с табл. 17		
5	Перевести в режим «Вычисление»	P, РР, В/О	0
6	Набрать и ввести исходные данные:		
	$\alpha_{\text{иск}}^{\circ}$	C/П	180
	$\alpha'_{\text{иск}}$	C П	0
	β°	C/П	90
	β'	C/П	0
	d	C/П	100
7	Индикация x_i	C/П	$2 \cdot 10^{-6}$
8	Индикация y_i	C/П	100,00
9	Нажать клавиши	БП, F, ↑	
10	Набрать и ввести исходные данные для следующей точки:		
	β°	C/П	269
	β'	C/П	59
	d	C/П	99,9
11	Индикация x_{i+1}	C/П	-99,899 97
12	Индикация y_{i+1}	C/П	100,029 0
13	Для обработки следующей точки повторить пункты 9—12		

Таблица 19

Программа вычисления $\operatorname{tg} \alpha$ и расстояния d

Шаг	Клавиша	Код	Шаг	Клавиша	Код
01	P2	21	22	\uparrow	06
02	C/П	78	23	F2	22
03	\uparrow	06	24	\div	36
04	F2	22	25	C/П	78
05	—	86	30	F2	22
10	P2	21	31	FX^2	55
11	C/П	78	32	\uparrow	06
12	P3	31	33	F4	42
13	C/П	78	34	FX^2	55
14	\uparrow	06	35	\div	96
15	F3	32	40	$F\sqrt{-}$	65
20	—	86	41	C/П	78
21	P4	41			

Таблица 20

Порядок работы оператора при решении обратной геодезической задачи

№ п/п	Выполняемая операция	Клавиша	Индцируемое число
1	Включить микрокалькулятор	ВКЛ	0
2	Перевести в режим «Программирование»	R РП	00
3	Занести программу в соответствии с табл. 19 и перевести на нулевой шаг	B/0	0
4	Ввести исходные данные в следующем порядке:		
	x_1	C/П	2450,05
	x_2	C/П	2531,04
	y_1	C/П	1367,82
	y_2	C/П	5717,72
5	Индикация $\operatorname{tg} \alpha$	C/П	53,709 09
6	Индикация d	C/П	4350,653

Приложения для решения геодезических задач на микрокалькуляторах серии «Электроника»: Б3-34, МК-54, МК-56, МК-61 и МК-52

В программах приведены единые клавиши для микрокалькуляторов Б3-34 и МК-56. При геодезических вычислениях на микрокалькуляторе «Электроника МК-54» необходимо учитывать различия в обозначении 11 клавиш. В программе решения треугольника (прил. 4) и других даны обозначения клавиш для микрокалькулятора «Электроника Б3-34» и для МК-54.

В программах коды и отладочные примеры являются едиными для всех микрокалькуляторов.

Таблица 21

Программа вычисления $\operatorname{arctg} x$

Шаг	Команда	Код	Шаг	Команда	Код
01	F2	22	51	—	86
02	FX ²	55	52	/—/	56
03	3	34	53	P	43
04	÷	36	54	F2	22
05	1	14	55	×	26
10	—	86	60	1	14
11	/—/	56	61	+	96
12	↑	06	62	↑	06
13	F2	22	63	P	53
14	×	26	64	X \leftrightarrow Y	16
15	P3	31	65	÷	36
20	FX ²	55	70	↑	06
21	9	94	71	F3	32
22	P4	41	72	+	96
23	/—/	56	73	P3	31
24	Pe ^x	33	74	F4	42
25	—	86	75	1	14
30	PX \geqslant 0	49	80	—	86
31	8	84	81	P4	41
32	F2	22	82	PX <0	69
33	↑	06	83	F4	42
34	FX ²	55	84	F3	32
35	F V [—]	65	85	1	14
40	÷	36	90	8	84
41	P3	31	91	0	04
42	F3	32	92	×	26
43	Pe ^{i_x}	03	93	↑	06
44	÷	36	94	P _π	23
45	↑	06	95	÷	36
50	F2	22	0	C/P	78

Таблица 22

Порядок работы оператора при вычислении функции

№ п/п	Выполняемая операция	Клавиша	Индцируемое число
1	Включить микрокалькулятор	ВКЛ	0
2	Перевести в режим «Программирование»	Р РП	00
3	Занести программу в соответствии с табл. 21 и перевести на нулевой шаг	B/0	0
4	Ввести $\operatorname{tg} \alpha$ в регистр 2	P2	53,709 09
5	Счет по программе	C/P	
6	Индикация угла α в градусах	F3	88,933 33
7	Индикация угла α в радианах		1,5521 79

4. Решение треугольника

Программа (табл. 23) позволяет решать треугольник по трем измеренным углам и стороне.

В программе реализованы формулы

$$b = K \sin B; \quad c = K \sin C,$$

где $K = a / \sin A$; a — измеренная сторона треугольника; A, B, C — измеренные углы треугольника; b, c — определяемые стороны треугольника.

Распределение регистров памяти

Регистр:	0	1	2	3
Величина:	A	a	$\sin B$	$\sin C$
	B	K		
	C			

Порядок действия оператора при вычислении сторон треугольника указан в табл. 24.

Программой предусмотрено решение треугольника при условии измерения углов в градусах и минутах.

После ввода числа минут C' проиндицируется значение стороны b , а после нажатия клавиши С/П — значение стороны c .

Пример. Исходные данные:

$$A = 55^{\circ}23,2'; \quad B = 62^{\circ}15,3'; \\ C = 60^{\circ}21,5'; \quad a = 508,91 \text{ м.}$$

Результаты решения: $b = 547,26 \text{ м}$; $c = 537,44 \text{ м}$.

Таблица 23

Программа решения треугольника

Шаг	Клавиша		Код	Шаг	Клавиша		Код
	Б3-34	МК-54			Б3-34	МК-54	
01	П1	X→П1	41	18	ИП2	П→Х2	62
02	ПП	ПП	53	19	×	×	12
03	23	23	23	20	С/П	С/П	50
04	F sin	F sin	1[21	ИП1	П→Х1	61
05	ИП1	П→Х1	61	22	ИПП3	П→Х3	63
06	X→Y	↔	14	23	×	×	12
07	+	÷	13	24	С/П	С/П	50
08	П1	X→П1	41	25	Г0	X→П0	40
09	ПП	ПП	53	26	С/П	С/П	50
10	23	23	23	27	↑	B↑	0E
11	F sin	F sin	1[28	6	6	06
12	П2	X→П2	42	29	0	0	00
13	ПП	ПП	53	30	÷	÷	13
14	23	23	23	31	ИП0	П→Х0	60
15	F sin	F sin	1[32	+	+	10
16	П3	X→П3	43	33	B/0	B/0	52
17	ИП1	П→Х1	61				

Таблица 24

Порядок работы оператора при решении треугольника

№ п/п	Выполняемая операция	Клавиша	Индцируемое число
1	Включить микрокалькулятор	ВКЛ	0
2	Поставить переключатель «Радианы—Градусы» в положение «Градусы»	Р—Г	0
3	Перевести в режим «Программирование»	F ПРГ	00
4	Занести программу в соответствии с табл. 23		
5	Перевести в режим «Вычисление»	F АВТ В/0	0
6	Ввести исходные данные: $a = 508,91$ $A^\circ = 55$ $A' = 23,2$ $B^\circ = 62$ $B' = 15,3$ $C^\circ = 60$ $C' \text{ (выч. } b\text{)} = 21,5$	С/П С/П С/П С/П С/П С/П С/П	508,91 55 618,356 48 62 8,850 283 · 10 ⁻¹ 60 547,262 98
7	Вычисление стороны c	С/П	537,435 57

Команда 24 шага (С/П) используется для ввода числа градусов A, B, C и для индикации определяемой стороны c .

Для решения следующего треугольника нажать клавишу В/0 и выполнить пункты 6—7 (см. табл. 24).

5. Вычисление поправок за центрировку и редукцию

Программа (табл. 25) состоит из 31 команды и позволяет вычислять поправки за центрировку и редукцию в секундах при обработке геодезических измерений.

В программе реализована формула

$$C = 206265 \frac{l \sin(M + \theta)}{D}$$

где l — линейный элемент центрировки; θ — угловой элемент центрировки; D — расстояние до наблюдаемого пункта; M — направление на наблюдаемый пункт.

Величины l и D вводятся в метрах, M и θ — в градусах и минутах. Величина поправки c вычисляется в секундах.

Действия оператора при вычислении указаны в табл. 26.

Пример. Исходные данные:

$$l = 0,473 \text{ м}; D = 2746 \text{ м}; \\ M = 127^\circ 05,6'; \theta = 43^\circ 28,0'.$$

Результаты решения: $C = +5,8''$.

Таблица 25

Программа вычисления поправок за центрировку и редукцию

Шаг	Команда	Код	Шаг	Команда	Код
01	ПП	53	17	6	06
02	22	22	18	2	02
03	П4	44	19	6	06
04	С/П	50	20	5	05
05	ПП	53	21	×	12
06	22	22	22	С/П	50
07	ИП4	64	23	ПО	40
08	+	10	24	С/П	50
09	F sin	11	25	↑	0E
10	ИП1	61	26	6	06
11	×	12	27	0	00
12	ИП2	62	28	÷	13
13	÷	13	29	ИПО	60
14	↑	0E	30	+	10
15	2	02	31	В/0	52
16	0	00			

Таблица 26

Порядок работы оператора при вычислении поправок за центрировку и редукцию

№ п/п	Выполняемая операция	Нажимаемая клавиша	Индцируемое число
1	Включить микрокалькулятор	ВКЛ	0
2	Поставить переключатель «Радианы—Градусы» в положение «Градусы»	Р—Г	0
3	Перевести в режим «Программирование»	ПРГ	00
4	Занести программу в соответствии с табл. 25		
5	Перевести в режим «Вычисление»	АВТ	0
6	Перевести программу на нулевой шаг	В/0	0
7	Набрать исходные данные и занести их в регистры памяти:		
	<i>l</i>	П1	0,473
	<i>D</i>	П2	2746
8	Набрать число градусов угла <i>M</i>	С/П	127
9	Набрать число минут угла <i>M</i>	С/П	5,6
10	Набрать число градусов угла <i>θ</i>	С/П	43
11	Набрать число минут угла <i>θ</i>	С/П	28
12	Индикация поправки <i>c</i>		5,827 319 5

6. Обработка тахеометрического хода (съемки)

Обработка тахеометрического хода на микрокалькуляторах производится по двум программам в зависимости от использован-

Таблица 27

Программа обработки тахеометрического хода (теодолит Т30)

Шаг	Клавиша		Код	Шаг	Клавиша		Код
	Б3-34	МК-54			Б3-34	МК-54	
01	П4	X→П4	44	20	2	2	02
02	С/П	С/П	50	21	÷	÷	13
03	↑	В↑	0E	22	ИП3	П→Х3	63
04	С/П	С/П	50	23	+	+	10
05	↑	В↑	0E	24	С/П	С/П	50
06	6	6	06	25	—	—	11
07	0	0	00	26	ИП1	П→Х1	61
08	÷	÷	13	27	+	+	10
09	+	+	10	28	С/П	С/П	50
10	П5	X→П5	45	29	ИП4	П→Х4	64
11	↑	В↑	0E	30	ИП0	П→Х0	60
12	2	2	02	31	×	×	12
13	×	×	12	32	ИП5	П→Х5	65
14	F sin	F sin	1[33	F cos	F cos	1Г
15	ИП4	П→Х4	64	34	FX ²	FX ²	22
16	×	×	12	35	×	×	12
17	ИП0	П→Х0	60	36	ИП2	П→Х2	62
18	×	×	12	37	+	+	10
19	↑	В↑	0E	38	С/П	С/П	50

ных приборов: программа табл. 27 составлена для теодолитов типа Т30 (измеряется наклонное расстояние), программа табл. 29 — для тахеометров типа Дальта (измеряется горизонтальное расстояние).

Программа табл. 27 состоит из 38 команд и позволяет обрабатывать полевые журналы тахеометрического хода (съемки) по формулам:

$$H_i = H_c + 1/2Kd_n \sin 2\alpha + i - v;$$

$$\text{ПК}_i = \text{ПК}_c + Kd_n \cos^2 \alpha,$$

где H_c — высотная отметка точки стояния теодолита; K — коэффициент дальномера; d_n — расстояние по дальномеру; α — угол наклона; i — высота инструмента; v — высота наведения; ПК_i — пикет съемочной точки.

Исходные данные вводятся в следующей последовательности. Величина K вводится с клавиатуры один раз в ячейку памяти ОЗУ «0» (нажимают клавишу П0), величины H_c , ПК_c и i вводятся на каждой точке стояния теодолита в ячейке памяти 1, 2, 3 (на клавиатуре нажимаются клавиши П1, П2 и П3 соответственно). После ввода программы (см. табл. 27) приступают к обработке съемочных точек. На каждой точке вводят величины d_n , α , v . Угол наклона α вводится последовательно: сначала число градусов α° , затем число минут α' .

Таблица 28

Порядок работы оператора при обработке тахеометрического хода

№/п	Выполняемая операция	Клавиша		Индцируемое число	
		БЗ-34	МК-54	пример А	пример Б
1	Включить микрокалькулятор	ВКЛ	ВКЛ	0	0
2	Поставить переключатель «Радианы — Градусы» в положение «Градусы»	Р—Г	Р—Г	0	0
3	Набрать исходные данные и занести их в регистры памяти: K H_c ΠK_c	П0	X→П0	1,011	0,999
4	Перевести в режим «Программирование»	F ПРГ	F ПРГ	00	00
5	Занести программу в соответствии с табл. 27				
6	Перевести в режим «Вычисление»	F АВТ	F АВТ	0	0
7	Перевести программу на нулевой шаг	B/0	B/0	0	0
8	Набрать исходные данные: d_h α^o α'	C/П	C/П	150,6	101,2
		C/П	C/П	2	3
		C/П	C/П	42,9	25,2
		C/П	C/П	1,5	2,0
9	Индикация значения H_i				
10	Индикация значения ΠK_i	C/П	C/П	157,99399	205,44179
11	Для обработки следующей точки нажать клавишу B/0 и выполнить пункты 8÷10	C/П	C/П	151,91498	4614,0988
		B/0	B/0		

Таблица 29

Программа обработки тахеометрического хода (тахеометр Дальта 010)

Шаг	Клавиша		Код	Шаг	Клавиша		Код
	БЗ-34	МК-54			БЗ-34	МК-54	
01	П4	X→П4	44	15	ИП1	П→Х1	61
02	С/П	С/П	50	16	+	+	10
03	↑	В↑	0E	17	ИП3	П→Х3	63
04	С/П	С/П	50	18	+	+	10
05	↑	В↑	0E	19	С/П	С/П	50
06	6	6	06	20	—	—	11
07	0	0	00	21	С/П	С/П	50
08	÷	÷	13	22	ИП2	П→Х2	62
09	+	+	10	23	ИП4	П→Х4	64
10	F tg	F tg	1E	24	ИП0	П→Х0	60
11	ИПЧ	П→ХЧ	64	25	×	×	12
12	×	×	12	26	+	+	10
13	ИП0	П→Х0	60	27	С/П	С/П	50
14	×	×	12				

Программа вычисления и уравнения дирекционных углов теодолитного хода

Шаг	Клавиша	Код	Шаг	Клавиша	Код
01	ПП	53	30	0	00
02	49	49	31	÷	13
03	П2	42	32	П4	44
04	С/П	50	33	С/П	50
05	ПП	53	34	ИП3	63
06	49	49	35	ИП1	61
07	↑	0E	36	÷	13
08	1	01	37	П7	47
09	8	08	38	ИП6	66
10	0	00	39	↑	0E
11	X→Y	14	40	1	01
12	—	11	41	+	10
13	ИП2	62	42	П6	46
14	÷	10	43	ИП7	67
15	П2	42	44	×	12
16	С/П	50	45	С/П	50
17	Б/П	51	46	+	10
18	02	02	47	С/П	50
19	ПП	53	48	БП	51
20	49	49	49	37	37
21	ИП2	62	50	П5	45
22	—	11	51	С/П	50
23	П3	43	52	6	0E
24	ИП0	60	53		06
25	ИП1	61	54	0	00
26	FV	21	55	÷	13
27	×	12	56	ИП5	65
28	↑	0E	57	+	10
29	6	06	58	B/0	52

Если угол отрицательный, то знак «—» вводится клавишей /—/ и для a° , и для a' .

После ввода v индицируется значение H_i , а после нажатия клавиши С/П индицируется величина ПК $_i$.

Порядок работы оператора при обработке тахеометрического хода (съемки) указан в табл. 28.

После обработки одного наблюдения нажимают клавишу В/0 и приступают к обработке следующей точки.

Пример А. Исходные данные: $K = 1,011$; $H_c = 150,89$; $\text{ПК}_c = 0$; $i = 1,40$; $d_n = 150,6$; $a = 2^\circ 42,9'$; $v = 1,50$.

Результаты решения: $H_i = 157,99$; $\text{ПК}_i = 151,91(1+51,9)$.

Если вычисление пикетажа не ведется, то ПК $_c$ в регистр памяти не заносится, а после вычисления H_i нажимают клавишу В/0 и приступают к вычислению высоты следующей точки.

Программа табл. 29 состоит из 27 команд и позволяет вычислять высоту (превышение) точки и ее пикетаж.

Таблица 31

Результаты вычисления по программе табл. 30

Номер точки	Измеренный угол	Вычисленный дирекционный угол, градус	Уравненный дирекционный угол, градус
1 (н)	96°10,3'	1,848 33	1,854 17
2	199 19,3	342,526 66	342,538 34
3	172 22,3	350,154 99	350,172 5
4 (к)	99 45,4	70,398 32	70,421 67

Таблица 32

Порядок работы оператора при вычислении и уравнивании дирекционных углов теодолитного хода

№ п/п	Выполняемая операция	Нажимаемая клавиша	Индцируемое число
1	Включить микрокалькулятор	ВКЛ	0
2	Поставить переключатель «Радианы—Градусы» в положение «Градусы»	Р—Г	0
3	Набрать исходные данные и занести их в регистры памяти: ϵ' n	П0 П1 F ПРГ	1 4 00
4	Перевести в режим «Программирование»		
5	Занести программу в соответствии с табл. 29		
6	Перевести в режим «Вычисление»	F АВТ	0
7	Перевести программу на нулевой шаг	В/0	0
8	Набрать число градусов дирекционного угла на начальной точке	С/П	278
9	Набрать число минут дирекционного угла на начальной точке	С/П	1,2
10	Набрать число градусов первого измеренного угла	С/П	96
11	Набрать число минут первого измеренного угла	С/П	10,3
12	Записать значение дирекционного угла в градусах и долях градуса первой стороны хода После нажатия клавиши С/П приступить к вводу следующего угла (пункты 10, 11, 12) и т. д.	С/П	361,84833
13	После получения на конечной точке хода дирекционного угла исходной стороны набирают число градусов исходного дирекционного угла $\alpha_{k \text{ исх}}^{\circ}$	БП 18 С/П	70
14	Набирают число минут $\alpha'_{k \text{ исх}}$	С/П	25,3 0,0333333
15	Индикация $f_{\beta \text{ доп}}$		0,033347
16	Индикация $f_{\beta \text{ п}}$		
17	Ввод дирекционного угла первой стороны хода α_1	С/П	361,84833
18	Индикация уравненного значения α_1	С/П	361,85417
19	Ввод дирекционного угла второй стороны хода α_2	С/П	342,52666
20	Индикация уравненного значения α_2 и т. д. до получения всех уравненных значений дирекционных углов		342,53834

В программе реализованы формулы

$$H_i = H_r + Kd_r \operatorname{tg} \alpha + i - v;$$

$$\text{ПК}_i = \text{ПК}_c + Kd_r,$$

где d_r — измеренное горизонтальное расстояние.

Порядок ввода исходных данных и вычисления H_i и ПК_i аналогичен программе табл. 27.

Порядок работы оператора при обработке тахеометрического хода указан в табл. 28.

Пример Б. Исходные данные: $K=0,999$; $H_c=200,00$; $\text{ПК}_c=45+13(4513)$; $i=1,40$; $d_r=101,2$; $\alpha=3^{\circ}25,2'$; $v=2,00$.

Результаты решения: $H_i=205,44$; $\text{ПК}_i=4614,1$ ($46+14,1$).

7. Обработка теодолитного хода

В связи с ограниченной памятью ОЗУ микрокалькулятора «Электроника Б3-34» первичная обработка теодолитного (трассировочного) хода производится в два этапа по отдельным программам. По программе табл. 30 вычисляются и уравниваются дирекционные углы, по программе табл. 35 вычисляются координаты точек хода и производится оценка его точности.

I. Программа вычисления и уравнивания дирекционных углов

Программа состоит из 58 команд. Исходными данными служат дирекционные углы на начальной и конечной точках хода и измеренные углы.

В программе реализованы формулы:

$$\alpha_i = \alpha_{i-1} + 180^\circ - \beta_i; \quad f_{\beta \text{ доп}} = \epsilon' \sqrt{n};$$

$$f_{\beta \text{ п}} = \alpha_{\text{кп}} - \alpha_{\text{кисх}}; \quad \alpha_{ii} = \alpha_i + K\delta\alpha_i,$$

где α_{i-1} — дирекционный угол предыдущей стороны; β — измеренный угол; ϵ' — точность измерения углов; n — число углов; α_{ii} — исправленный дирекционный угол; $f_{\beta \text{ доп}}$ — допустимая угловая невязка; $f_{\beta \text{ п}}$ — полученная угловая невязка; K — номер угла; $\delta\alpha_i$ — поправка в дирекционный угол.

По программе табл. 30 обрабатывается теодолитный ход, если измерены правые углы. Если углы измерялись левые, то при вводе программы в шаге 12 необходимо изменить знак «—» на «+», а в шаге 14 изменить «+» на «—».

После ввода программы (см. табл. 30) нажимают клавишу В/0 и приступают к вводу исходных данных в следующем порядке:

α° — значение исходного дирекционного угла, градус;

α' — то же, мин;

β° — значение измеренного угла, градус;

β' — то же, мин.

После ввода β' решение задачи заканчивается индикацией дирекционного угла стороны в градусах и долях градуса; показа-

ние записывается в журнал. Затем вводят число градусов и минут следующего измеренного угла β_{i+1} и т. д. до тех пор, пока не будет введен измеренный примычный угол на конечной точке хода.

Следует иметь в виду, что в процессе вычислений значение дирекционного угла может быть меньше 0 или больше 360° . Так, например, при решении примера вычисленный дирекционный угол на конечной точке хода проиндицируется равным $430,398\ 32^\circ$. Для дальнейших вычислений его необходимо уменьшить на 360° и полученный результат $70,398\ 32^\circ$ занести в регистр памяти 2.

После вычисления дирекционного угла на конечной точке хода a_{kii} набирают число градусов исходного дирекционного угла a_k^o исх на этой точке и нажимают клавиши БП 18 С/П, после чего набирают число минут угла a_k' исх и нажимают клавишу С/П. Решение задачи заканчивается индикацией допустимой угловой невязки $f_{\beta \text{ доп}}$ (в долях градуса).

Сравнение величин $f_{\beta \text{ доп}}$ и $f_{\beta \text{ ил}}$ производится визуально после нажатия клавиш ИПЗ.

При допустимой угловой невязке нажимают клавишу С/П и вводят с клавиатуры значение полученного дирекционного угла первой стороны хода (в градусах и долях градуса). После нажатия клавиши С/П проиндицируется его уравненное значение. После этого нажимают клавишу С/П и вводят полученный дирекционный угол второй стороны и т. д. Таким образом получают уравненные значения всех дирекционных углов сторон хода в градусах и долях градуса (табл. 31).

Порядок работы оператора указан в табл. 32.

Пример. Исходные данные:

$$X_n = 0; X_k = 715,1; a_n = 278^\circ 01,2'; \epsilon = 1'; \\ Y_n = 0; Y_k = -92,4; a_k = 70^\circ 25,3'; n = 4.$$

Измеренные углы (правые):

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 96^\circ 10,3'; \\ \beta_2 &= 199 19,3'; \\ \beta_3 &= 172 22,3'; \\ \beta_4 &= 99 45,4'; \\ d_1 &= 283,6; \\ d_2 &= 195,1; \\ d_3 &= 249,4. \end{aligned}$$

II. Программа вычисления координат точек теодолитного хода

Программа (табл. 33) позволяет вычислять и уравнивать координаты теодолитного хода, а также оценивать его точность. Исходными данными служат координаты начальной и конечной точек хода, длины сторон и уравненные дирекционные углы в градусах и долях градуса (программа табл. 29).

В программе реализованы формулы:

$$\begin{aligned} x_i &= x_{i-1} + d_i \cos \alpha_i; & y_i &= y_{i-1} + d_i \sin \alpha_i; \\ x_{i \text{ ур}} &= x_i - K_1 \sum \Delta x_i; & y_{i \text{ ур}} &= y_i - K_2 \sum \Delta y_i; \\ 1/m &= f_i/L, \end{aligned}$$

Таблица 33

Программа вычисления и уравнивания координат теодолитного хода

Шаг	Клавиша	Код	Шаг	Клавиша	Код
01	ПО	40	38	X \leftrightarrow Y	14
02	ИП5.	65	39	\div	13
03	+	10	40	C/P	50
04	П5	45	41	ИП7	67
05	ИП0	60	42	ИП1	61
06	C/P	50	43	ИПС	6[
07	П6	46	44	—	11
08	F cos	1Г	45	\div	13
09	\times	12	46	П7	47
10	ИП1	61	47	ИП8	68
11	+	10	48	ИП2	62
12	П1	41	49	ИПД	6Г
13	C/P	50	50	—	11
14	ИПЮ	60	51	\div	13
15	ИП6	66	52	П8	48
16	F sin	11	53	C/P	50
17	\times	12	54	П9	49
18	ИП2	62	55	ИПС	6[
19	+	10	56	—	11
20	П2	42	57	ИП7	67
21	C/P	50	58	\times	12
22	П0	40	59	ИП9	69
23	B/0	52	60	X \leftrightarrow Y	14
24	ИП1	61	61	—	11
25	ИП3	63	62	C/P	50
26	—	11	63	П9	49
27	П7	47	64	ИПД	6Г
28	ИП2	62	65	—	11
29	ИП4	64	66	ИП8	68
30	—	11	67	\times	12
31	П8	48	68	ИП9	69
32	FX ²	22	69	X \leftrightarrow Y	14
33	ИП7	67	70	—	11
34	FX ²	22	71	C/P	50
35	+	10	72	БП	51
36	FY	21	73	52	52
37	ИП5	65			

где x_i , y_i — предварительные (неуравненные) координаты точек хода; $x_{i\text{ур}}$, $y_{i\text{ур}}$ — уравненные координаты;

$$K_1 = f_x / (\sum \Delta x); \quad K_2 = f_y / \sum \Delta y;$$

f_x , f_y — невязки координат; L — длина хода; f_l — линейная невязка хода.

Распределение регистров памяти

Регистр:	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	А	В	С	Д
Величина:	d_l	x_n	y_n	x_k	y_k	Σd_l	α_l	f_x	f_y	x_l	—	—	x_n	y_n
	—	x_l	y_l	—	—	—	—	$f_x / \sum \Delta x$	$f_y / \sum \Delta y$	y_l	—	—	—	—

Таблица 34

Результаты вычисления по программе табл. 33

Номер точки	Уравненный дирекционный угол, градус	Расстояние, м	Предварительные координаты, м		Уравненные координаты, м	
			x	y	$x_{\text{ур}}$	$y_{\text{ур}}$
1 (н)	1,854 17	283,6	0	0	0	0
2	342,538 33	195,1	283,5	9,2	283,4	9,2
3	350,172 5	249,4	469,6	-49,4	469,5	-49,6
4 (к)	70,421 667		715,3	-91,9	715,1	-92,4

Программа позволяет решать задачу в два этапа:
вычисление предварительных координат точек и оценка точности хода;

Таблица 35

Порядок работы оператора при вычислении координат точек хода

№ п/п	Выполняемая операция	Клавиша	Индцируемое число
1	Включить микрокалькулятор	ВКЛ	0
2	Поставить переключатель «Радианы — Градусы» в положение «Градусы»	Р—Г	0
3	Набрать исходные данные и занести их в регистры памяти:		
	x_n	П1 ПС	0
	y_n	П2 ПД	0
	x_k	П3	715,1
	y_k	П4	-92,4
4	Перевести в режим «Программирование»	F ПРГ	00
5	Занести программу в соответствии с табл. 33		
6	Перевести в режим «Вычисление»	F АВТ	0
7	Перевести программу на нулевой шаг	В/0	0
8	Набрать расстояние до 1-й точки	С/П	283,6
9	Набрать уравненный дирекционный угол (в градусах и долях градуса)	С/П	1,854 17
10	Индикация значения x_i	С/П	283,451 52
11	Индикация значения y_i	С/П	9,176 083
12	Приступить к вычислению координат 2-й точки (пункты 8, 9, 10, 11)		
13	После вычисления координат конечной точки x_k и y_k производят оценку точности хода	БП 23	
14	Индикация знаменателя относительной линейной невязки хода t	С/П	1 437,876 4
15	Переход к вычислению уравненных координат	С/П	
16	Набрать x_1	С/П	283,5
17	Индикация x_1 ур	С/П	283,4
18	Набрать y_1	С/П	9,2
19	Индикация y_1 ур	С/П	9,2
20	Переход к вычислению координат следующей точки (пункты 16—20)	С/П	

вычисление уравненных координат точек хода.

Если уравнивание координат точек хода не требуется, то программу вводят только до 40-го шага. В этом случае при вводе координат начальной точки x_n и y_n (см. табл. 35) нажимают клавиши П1 и П2 (клавиши ПС и ПД не нажимают).

После ввода измеренного горизонтального расстояния d_i и дирекционного угла α_i решение задачи заканчивается последовательной индикацией предварительных координат точки хода x_i и y_i , которые необходимо записать в журнал (табл. 34). После того как получено значение ординаты конечной точки хода y_k , нажимают клавиши БП 23 С/П; решение задачи заканчивается индикацией знаменателя относительной линейной невязки хода.

Для вычисления уравненных координат точек хода нажимают клавишу С/П и вводят последовательно предварительные координаты x_i и y_i , после нажатия клавиши С/П решение задачи заканчивается последовательной индикацией их уравненных значений $x_{i\text{ур}}$ и $y_{i\text{ур}}$. После нажатия клавиши С/П приступают к вводу координат следующей точки.

Порядок работы оператора при вычислении теодолитного хода указан в табл. 35.

8. Обратная геодезическая задача

Программа решения обратной геодезической задачи (табл. 36) состоит из 36 шагов и позволяет определять значение дирекционного угла в зависимости от знаков приращений координат [8].

Расстояние и дирекционный угол в I четверти определяют по формулам

$$d = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}; \quad \alpha = \arccos(\Delta x/d),$$

где $\Delta x = x_2 - x_1$; $\Delta y = y_2 - y_1$.

Перевод долей градуса дирекционного угла в минуты и долей минут в секунды производится программным путем. Для этого клавишу С/П нажимают два раза. После первого нажатия индицируется число минут, после второго — число секунд.

Действия оператора при решении обратной геодезической задачи указаны в табл. 37.

Пример. Исходные данные:

$$\begin{aligned} x_1 &= 233\ 517,2; & x_2 &= 233\ 952,4; \\ y_1 &= 575\ 025,7; & y_2 &= 573\ 914,8. \end{aligned}$$

Результаты решения:

$$d = 1193,1; \quad \alpha = 291,392\ 98^\circ = 291^\circ 23' 34,73''.$$

9. Прямая засечка

Программа вычисления координат точки прямой засечки (табл. 38) по формулам котангентов внутренних углов треугольника состоит из 56 шагов и позволяет решать задачу при двух или

Таблица 36

Программа решения обратной геодезической задачи

Шаг	Клавиша	Код	Шаг	Клавиша	Код
01	ИП3	63	19	÷	13
02	ИП1	61	20	F arccos	1—
03	—	11	21	—	11
04	↑	0E	22	FX>0	59
05	FX ²	22	23	20	20
06	ИП4	64	24	C/P	50
07	ИП2	62	25	1	01
08	—	11	26	+	10
09	FX<0	51	27	Г9	49
10	12	12	28	КИП9	Г9
11	3	03	29	X→Y	14
12	6	06	30	ИП9	69
13	0	00	31	—	11
14	F	25	32	6	06
15	FX ²	22	33	0	00
16	+	10	34	×	12
17	FV	21	35	БП	51
18	C/P	50	36	23	23

трех исходных пунктах (рис. 6). В программе реализованы формулы:

$$x_P = \frac{x_1 \operatorname{ctg} \beta_2 + x_2 \operatorname{ctg} \beta_1 + y_2 - y_1}{\operatorname{ctg} \beta_2 + \operatorname{ctg} \beta_1}; \quad y_P = \frac{y_1 \operatorname{ctg} \beta_2 + y_2 \operatorname{ctg} \beta_1 + x_1 - x_2}{\operatorname{ctg} \beta_2 + \operatorname{ctg} \beta_1}.$$

Таблица 37

Порядок работы оператора при решении обратной геодезической задачи

№ п/п	Выполняемая операция	Нажимаемая клавиша	Индцируемое число
1	Включить микрокалькулятор	ВКЛ	0
2	Поставить переключатель «Радианы—Градусы» в положение «Градусы»	Р—Г	0
3	Перевести в режим «Программирование»	F ПРГ	00
4	Занести программу в соответствии с табл. 36		
5	Перевести в режим «Вычисление»	F АВТ	0
6	Перевести программу на нулевой шаг	В/0	0
7	Набрать исходные данные и занести их в регистры памяти: x_1 y_1 x_2 y_2	П1 П2 П3 П4	233 517,2 575 025,7 233 952,4 573 914,8
8	Вычислить расстояние d	С/П	1193,104 2
9	Вычислить дирекционный угол α°	С/П	291,392 98
10	Перевести доли градуса в минуты	С/П	23,578 8
11	Перевести доли минут в секунды	С/П	34,728

Программа решения прямой засечки

Шаг	Клавиша	Код	Шаг	Клавиша	Код
01	П5	45	29	ИП1	61
02	С/П	50	30	ИП7	67
03	↑	0E	31	×	12
04	6	06	32	ИП3	63
05	0	00	33	ИП6	66
06	÷	13	34	×	12
07	ИП5	65	35	+	10
08	+	10	36	ИП0	60
09	F tg	1E	37	+	10
10	F 1/X	23	38	ИП2	62
11	С/П	50	39	—	11
12	ИП0	60	40	ИПВ	6L
13	ИП7	67	41	÷	13
14	×	12	42	С/П	50
15	ИП2	62	43	ИП2	62
16	ИП6	66	44	П0	40
17	×	12	45	ИП3	63
18	+	10	46	П1	41
19	ИП3	63	47	ИП4	64
20	+	10	48	П2	42
21	ИП1	61	49	ИП5	65
22	—	11	50	П3	43
23	ИП7	67	51	ИП8	68
24	ИП6	66	52	П6	46
25	+	10	53	ИП9	69
26	ПВ	4L	54	П7	47
27	+	13	55	БП	51.
28	С/П	50	56	11	11

Вычисление по программе начинают с ввода измеренных углов в следующей последовательности: набирают число градусов β_1° , нажимают клавишу С/П, затем набирают число минут β_1' , нажимают клавишу С/П. Решение задачи заканчивается индикацией величины $\operatorname{ctg} \beta_1$, которую необходимо переслать для хранения в ячейку памяти 6. После этого нажимают клавишу В/О и вводят аналогичным образом β_2 , β_3 , β_4 и котангенсы углов β_2 , β_3 , β_4 в ячейки памяти 7, 8 и 9 соответственно.

После того как $\operatorname{ctg} \beta_4$ переслан для хранения в ячейку памяти 9, нажимают клавишу С/П. Решение засечки заканчивается индикацией x_P' , после следующих нажатий клавиши С/П в регистре X индицируется $y_P' x_P''$, y_P'' . Если засечка определяется с двух пунктов, то ее решение заканчивается после двух нажатий клавиши С/П.

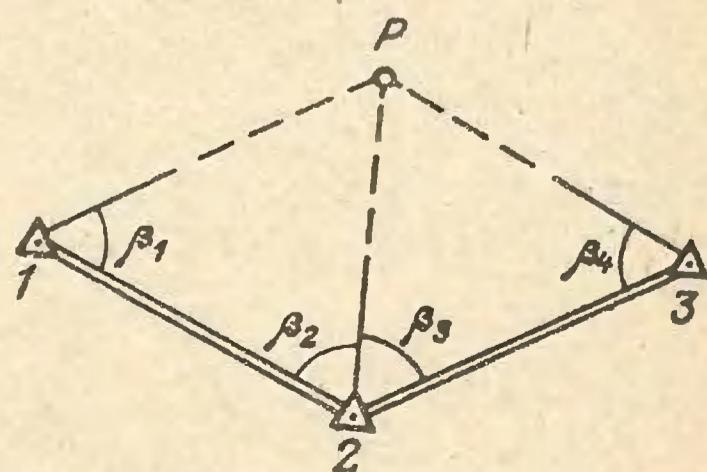


Рис. 6. Прямая засечка

Действия оператора при вычислении прямой засечки указаны в табл. 39.

Таблица 39

Порядок работы оператора при решении прямой засечки

№ п/п	Выполняемая операция	Клавиша	Индцируемое число
1	Включить микрокалькулятор	ВКЛ	0
2	Поставить переключатель «Радианы—Градусы» в положение «Градусы»	Р—Г	0
3	Набрать исходные данные и занести их в регистры памяти:		
	x_1	П0	11 693,0
	y_1	П1	27 519,2
	x_2	П2	8 587,5
	y_2	П3	28 755,9
	x_3	П4	11 056,8
	y_3	П5	33 083,2
4	Перевести в режим «Программирование»	F ПРГ	00
5	Занести программу в соответствии с табл. 38	F АВТ В/0	0
6	Перевести в режим «Вычисление»	C/П	57
7	Набрать число градусов β_1°	C/П	28,4
8	Набрать число минут β_1'	П6 В/0	0,637 724 76
9	Занести $\operatorname{ctg} \beta_1$ в Рг памяти 6	C/П	36
10	Набрать число градусов β_2°	C/П	13,8
11	Набрать число минут β_2'	П7 В/0	1,364 826 7
12	Занести $\operatorname{ctg} \beta_2$ в Рг памяти 7	C/П	45
13	Набрать число градусов β_3°	C/П	46,5
14	Набрать число минут β_3'	П8 В/0	0,973 309 5
15	Занести $\operatorname{ctg} \beta_3$ в Рг памяти 8	C/П	33
16	Набрать число градусов β_4°	C/П	53,7
17	Набрать число минут β_4'	П9	1,488 437 6
18	Занести $\operatorname{ctg} \beta_4$ в Рг памяти 9	C/П	11 321,595
19	Решение засечки	C/П	29 463,805
20	Индикация x'_P	C/П	11 321,612
21	Индикация y'_P	C/П	29 463,726
22	Индикация x''_P		
23	Индикация y''_P		

Пример. Исходные данные:

$$\begin{aligned}x_1 &= 11 693,0; \quad x_2 = 8 587,5; \quad x_3 = 11 056,8; \\y_1 &= 27 519,2; \quad y_2 = 28 755,9; \quad y_3 = 33 083,2; \\&\beta_1 = 57^\circ 28,4'; \quad \beta_3 = 45^\circ 46,5'; \\&\beta_2 = 36^\circ 13,8'; \quad \beta_4 = 33^\circ 53,7'.\end{aligned}$$

Результаты решения:

$$\begin{aligned}x'_P &= 11 321,50; \quad x''_P = 11 321,61; \\y'_P &= 29 463,80; \quad y''_P = 29 463,73.\end{aligned}$$

10. Обратная засечка

Программа вычисления координат точки обратной засечки (табл. 40) состоит из 67 шагов и позволяет решать задачу по трем или четырем исходным пунктам. Принятые обозначения исходных пунктов и измеренных углов показаны на рис. 7: исходные

Таблица 40

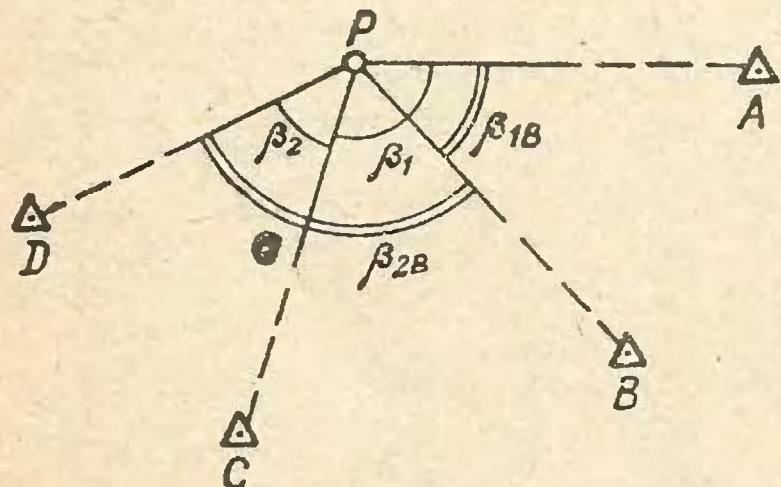
Программа решения обратной засечки

Шаг	Клавиша	Код	Шаг	Клавиша	Код
01	П8	48	35	ИП7	67
02	С/П	50	36	X \leftrightarrow Y	14
03	↑	0E	37	—	11
04	6	06	38	ИП0	60
05	0	00	39	×	12
06	÷	13	40	П8	48
07	ИП8	68	41	ИП9	69
08	+	10	42	ИП7	67
09	F tg	1E	43	×	12
10	F 1/X	23	44	↑	0E
11	С/П	50	45	1	01
12	ИП0	60	46	+	10
13	ИП7	67	47	ИП1	61
14	×	12	48	/—/	0L
15	ИП2	62	49	×	12
16	ИП6	66	50	ИП8	68
17	×	12	51	+	10
18	+	10	52	ИП8	69
19	ИП4	64	53	F X ²	22
20	+	10	54	↑	0E
21	П8	48	55	1	01
22	ИП1	61	56	+	10
23	ИП7	67	57	÷	13
24	×	12	58	ПС	4[
25	ИП3	63	59	ИПА	6—
26	ИП6	66	60	+	10
27	×	12	61	С/П	50
28	+	10	62	ИПС	6[
29	ИП5	65	63	ИП9	69
30	—	11	64	×	12
31	ИП8	68	65	ИПВ	6L
32	X \leftrightarrow Y	14	66	+	10
33	÷	13	67	С/П	50
34	П9	49			

Порядок работы оператора при решении обратной засечки

№ п/п	Выполняемая операция	Клавиша	Индцируемое число
1	Включить микрокалькулятор	ВКЛ	0
2	Поставить переключатель «Радианы—Градусы» в положение «Градусы»	Р—Г	0
3	Набрать исходные данные и занести их в регистры памяти:		
	$(y_2 - y_3)$	П0	2 057,3
	$(x_2 - x_3)$	П1	531,3
	$(y_2 - y_1)$	П2	-3 246,9
	$(x_2 - x_1)$	П3	-1 205,0
	$(x_3 - x_1)$	П4	-1 736,3
	$(y_3 - y_1)$	П5	-5 304,2
	x_2	ПА	85 026,3
	y_2	ПВ	15 964,9
4	Перевести в режим «Программирование»	F ПРГ	00
5	Занести программу в соответствии с табл. 40		
6	Перевести в режим «Вычисление»	F АВТ В/0	0
7	Набрать число градусов β_1'	С/П	65
8	Набрать число минут β_1'	С/П	18,4
9	Занести $\operatorname{ctg} \beta_1$ в Рг памяти 6	П6 В/0	0,459 807 61
10	Набрать число градусов β_2'	С/П	38
11	Набрать число минут β_2'	С/П	55,4
12	Занести $\operatorname{ctg} \beta_2$ в Рг памяти 7	П7	1,238 281 4
13	Решение засечки	С/П	
14	Индикация x_p'	С/П	87 347,9
15	Индикация y_p'		15 672,241
16	Для выполнения контрольных вычислений повторить действия пунктов 6—13 с новыми исходными данными		
17	Индикация x_p''	С/П	87 347,706
18	Индикация y_p''		15 671,774

Рис. 7. Обратная засечка



пункты — A (1), C (2) и D (3), пункт B используется при контрольных вычислениях.

В программе реализованы формулы

$$\operatorname{ctg} \theta = \frac{(y_2 - y_1) \operatorname{ctg} \beta_2 + (y_2 - y_1) \operatorname{ctg} \beta_1 + x_3 - x_1}{(x_2 - x_3) \operatorname{ctg} \beta_2 + (x_2 - x_1) \operatorname{ctg} \beta_1 - (y_3 - y_1)};$$

$$N = (y_2 - y_3) (\operatorname{ctg} \beta_2 - \operatorname{ctg} \theta) + (x_3 - x_2) (1 + \operatorname{ctg} \theta \cdot \operatorname{ctg} \beta_2);$$

$$x_p = x_2 + N / (1 + \operatorname{ctg}^2 \theta);$$

$$y_p = y_2 + N \operatorname{ctg} \theta / (1 + \operatorname{ctg}^2 \theta).$$

Перед вычислением по программе на клавиатуре набирают разности координат исходных пунктов, которые заносят в регистры памяти в соответствии с табл. 41. После этого вводят x_2 в регистр памяти A , y_2 — в B .

Вычисление по программе начинается с ввода измеренных углов β_1 и β_2 и заканчивается индикацией координат определяемой точки x_p' и y_p' .

Для контроля вычисление повторяют с учетом четвертой исходной точки B , принимаемой за точку 2. При этом вводятся новые исходные данные: координаты, разности координат и измеренные углы. Разности координат $(x_3 - x_1)$ и $(y_3 - y_1)$ остаются неизменными. Решение засечки заканчивается индикацией координат x_p'' и y_p'' .

Порядок работы оператора при вычислении обратной засечки указан в табл. 41.

Пример. Исходные данные (основные вычисления):

$$x_A(1) = 86\ 231,3; x_C(2) = 85\ 026,3; x_D(3) = 84\ 495,0;$$

$$y_A(1) = 19\ 211,8; y_C(2) = 15\ 964,9; y_D(3) = 13\ 907,6;$$

$$\beta_1 = 65^\circ 18,4';$$

$$\beta_2 = 38^\circ 55,4'.$$

Контрольные вычисления:

$$x_{B(2)} = 85,344,1; \beta_1 = 34^\circ 03,8';$$

$$y_{B(2)} = 17\ 261,7; \beta_2 = 70^\circ 10,8'.$$

Результаты решения:

$$x_{P'} = 87\ 347,9; x_{P''} = 87\ 347,1;$$

$$y_{P'} = 15\ 672,2; y_{P''} = 15\ 671,7.$$

11. Полярная засечка

Программа (табл. 42) позволяет вычислять координаты определяемой точки по дирекционному углу и расстоянию по формулам

$$x_p = x_c + d \cos \alpha; \quad y_p = y_c + d \sin \alpha,$$

где x_c , y_c — координаты точки стояния; d — горизонтальное расстояние; α — дирекционный угол.

Порядок работы оператора приведен в табл. 43.

Пример. Исходные данные:

$$x_c = 1005,2; y_c = 675,3;$$

$$d = 132,5; \alpha = 35^\circ 10,5'.$$

Результаты решения: $x_p = 1113,6$; $y_p = 751,6$.

Таблица 42

Программа вычисления полярной засечки

Шаг	Клавиша	Код	Шаг	Клавиша	Код
01	П0	40	12	×	12
02	С/П	50	13	ИП1	61
03	↑	0Е	14	+	10
04	6	06	15	С/П	50
05	0	00	16	ИП0	60
06	+	13	17	F sin	11
07	ИП0	60	18	ИП3	63
08	+	10	19	×	12
09	П0	40	20	ИП2	62
10	F cos	1Г	21	+	10
11	ИП3	63	22	С/П	50

Таблица 43

Порядок работы оператора при вычислении полярной засечки

№ п/п	Выполняемая операция	Клавиша	Индика-руемое число
1	Включить микроалькулятор	ВКЛ	0
2	Поставить переключатель «Радианы—Градусы» в положение «Градусы»	Р—Г	0
3	Перевести в режим «Программирование»	F ПРГ	00
4	Ввести программу (табл. 22)		
5	Перевести в режим «Вычисление»	F АВТ В/0	0
6	Набрать исходные данные и занести их в регистры памяти:		
	x_c	П1	1005,2
	y_c	П2	675,3
	d	П3	132,5
7	Набрать число градусов дирекционного угла α°	С/П	35
8	Набрать число минут дирекционного угла α'	С/П	10,5
9	Вычисление x_p	С/П	1113,505
10	Вычисление y_p		751,63

12. Линейная засечка

Программа линейной засечки (табл. 44) позволяет вычислять

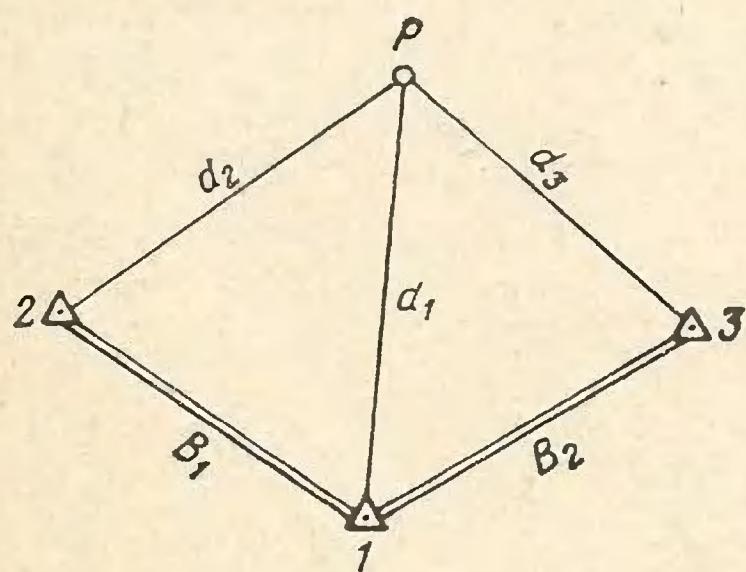


Рис. 8. Линейная засечка

Таблица 44

Программа решения линейной засечки

Шаг	Клавиша	Код	Шаг	Клавиша	Код
01	ИП1	61	38	ИПД	6Г
02	ИП3	63	39	×	12
03	—	11	40	—	11
04	П0	40	41	ИПА	6—
05	ИП2	62	42	÷	13
06	ИП4	64	43	ИП1	61
07	—	i1	44	X \rightleftarrows Y	14
08	ПД	4Г	45	—	11
09	FX ²	22	46	С/П	50
10	ИП0	60	47	ИПВ	6L
11	FX ²	22	48	ИПД	6Г
12	+	10	49	×	12
13	F V	21	50	ИПС	6I
14	ПА	4—	51	ИП0	60
15	FX ²	22	52	×	12
16	ИП5	65	53	+	10
17	FX ²	22	54	ИПА	6—
18	+	10	55	÷	13
19	ИП6	66	56	ИП2	62
20	FX ²	22	57	X \rightleftarrows Y	14
21	—	11	58	—	11
22	ИПА	6—	59	С/П	50
23	↑	0E	60	ИП1	61
24	+	10	61	П3	43
25	÷	13	62	ИП2	62
26	ПВ	4L	63	П4	44
27	ИП5	65	64	ИП8	68
28	FX ²	22	65	П1	41
29	ИПВ	6L	66	ИП9	69
30	FX ²	22	67	П2	42
31	—	11	68	ИП5	65
32	F V —	21	69	П6	46
33	ПС	4I	70	ИП7	67
34	ИПВ	6L	71	П5	45
35	ИП0	60	72	ИП1	61
36	×	12	73	B/O	52
37	ИПС	6I			

координаты определяемой точки P по расстояниям, измеренным до двух или трех исходных пунктов (рис. 8).

В программе реализованы формулы

$$B_1 = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2};$$

$$K_1 = \frac{B_1^2 + d_1^2 - d_2^2}{2B_1}; \quad K_2 = \sqrt{d_1^2 - K_1^2};$$

$$x_P = x_1 - \frac{K_1 \Delta x - K_2 \Delta y}{B_1}; \quad y_P = y_1 - \frac{K_1 \Delta y + K_2 \Delta x}{B_1},$$

где

$$\Delta x = x_1 - x_2; \quad \Delta y = y_1 - y_2.$$

Порядок работы оператора приведен в табл. 45.

Таблица 45

Порядок работы оператора при решении линейной засечки

№ п/п	Выполняемая операция	Клавиша	Индцируемое число
1	Включить микрокалькулятор	ВКЛ	0
2	Поставить переключатель «Радианы — Градусы» в положение «Градусы»	Р—Г	0
3	Перевести в режим «Программирование» и ввести программу (табл. 44)	F ПРГ	00
4	Перевести в режим «Вычисление»	F АВТ В/0	0
5	Набрать исходные данные и занести их в регистры памяти:		
	x_1	П1	53 709,77
	y_1	П2	19 963,14
	x_2	П3	58 012,67
	y_2	П4	13 071,95
	d_1	П5	7 707,23
	d_2	П6	6 198,44
	d_3	П7	7 367,81
	x_3	П8	55 860,37
	y_3	П9	23 384,44
6	Решение засечки:		
	x'_P	С/П	61 248,196
	y'_P	С/П	18 358,918
	x''_P	С/П	61 248,194
	y''_P	С/П	18 358,907

Пример: Исходные данные:

$$\begin{aligned}x_1 &= 53 709,77; \quad x_2 = 58 012,67; \quad x_3 = 55 860,37; \\y_1 &= 19 963,14; \quad y_2 = 13 071,95; \quad y_3 = 23 384,44; \\d_1 &= 7 707,23; \quad d_2 = 6 198,44; \quad d_3 = 7 367,81.\end{aligned}$$

Результаты решения:

$$\begin{aligned}x'_P &= 61 248,20; \quad x''_P = 61 248,19; \\y'_P &= 18 358,93; \quad y''_P = 18 358,91.\end{aligned}$$

13. Обработка геометрического нивелирования

Так как объем памяти ОЗУ микрокалькуляторов ограничен, обработку геометрического нивелирования целесообразно производить по двум отдельным программам: по программе табл. 47 — обработку полевых журналов технического нивелирования и нивелирования IV класса; по программе табл. 50 — дальнейшую обработку и оценку точности нивелирного хода.

1. Обработка полевого журнала

Программа табл. 47 составлена по формулам, которые позволяют производить все вычисления на станции, а также осуществлять

контрольные вычисления на каждой странице полевого журнала.

$$\begin{aligned} l_3 &= O_2 - O_1; & l_{\text{п}} &= O_4 - O_3; \\ \Delta_1 &= l_3 - l_{\text{п}}; & \Delta_2 &= \sum \Delta_1; \\ h_q &= O_2 - O_4; & h_k &= O_6 - O_5; \\ h_{\text{ср}} &= \frac{(h_q + h_k) \pm 100}{2}; & \sum h &= \frac{\sum (h_q + h_k)}{2}; \\ l_{\text{стр}} &= \sum (l_3 + l_{\text{п}}), \end{aligned}$$

где O_1, O_2 — отсчеты по верхнему (нижнему) и среднему дальномерным штрихам по черной стороне задней рейки; O_3, O_4 — отсчеты по верхнему (нижнему) и среднему дальномерным штрихам по черной стороне передней рейки; O_5, O_6 — отсчеты по среднему дальномерному штриху по красной стороне передней и задней реек; $l_3, l_{\text{п}}$ — расстояния до задней и передней реек; h_q, h_k — превышения, определенные по черной и красной сторонам рейки; $h_{\text{ср}}$ — среднее превышение на станции (знак «+» или «—» определяется программой); $\sum h$ — сумма превышений на странице; $l_{\text{стр}}$ — длина хода на странице журнала; Δ_1 — 1-й контроль на станции; Δ_2 — 2-й контроль на станции.

Распределение регистров памяти

Регистр:	0	1	2	3	4	5	6
Величина:	Δ_2	O_1	O_3	O_2	O_4	O_6	O_5
Продолжение							
Регистр:	7	8	9	A	B	C	D
Величина:	$[\Sigma(3-\Pi)]/2$	$\Sigma h_{\text{ср}}$	$l_{\text{стр}}$	h_q	h_k	Σh	$(\Sigma h)/2$

Ввод отсчетов O_1-O_6 на каждой станции производится с клавиатуры микрокалькулятора в порядке их расположения в журнале (табл. 46).

После ввода шести отсчетов O_1-O_6 , определенных на станции, оператор последовательно шесть раз нажимает клавишу С/П и записывает в журнал полученные результаты вычислений: $l_3, l_{\text{п}}, \Delta_1, \Delta_2, h_q, h_k, h_{\text{ср}}$. Контроль полученных величин производится оператором визуально. Если величина l_3 или $l_{\text{п}}$ получается со знаком минус, то необходимо нажать клавишу /—/.

После индикации величины $h_{\text{ср}}$ нажимают клавишу С/П, затем В/0 и приступают к обработке измерений на следующей станции.

После того как все станции на странице журнала обработаны, выполняют постраничный контроль, для этого нажимают клавишу С/П, после чего индицируется величина $l_{\text{стр}}$, затем последовательно нажимают клавишу С/П еще три раза. Результаты вычислений индицируются в следующем порядке: $\Sigma(3-\Pi)/2$ (полусумма разности отсчетов по задней и передней рейке); Σh и $\Sigma h_{\text{ср}}$.

Следует иметь в виду, что постраничные контрольные вычисления выполняют с нарастающим итогом относительно начальной станции, поэтому при переходе к следующей странице журнала

Таблица 46

Исходные данные и результаты решения

Номер станции	$l_8, l_{\pi};$ Δ_1/Δ_2	Отсчет по рейке (O)		Превышение, мм	Среднее превышение, мм
		задней	передней		
1 0—1	240	486 (1)	241 (3)	+242	+242
	243	726 (2)	484 (4)		
	-3/-3	6611 (6)	6268 (5)	+343	
2 1—2	250	265	1473	-1213	-1213
	255	515	1728		
	-5/-8	6300	7613	-1313	
3 2—3	266	694	990	-300	-300
	270	960	1260		
	-4/-12	6747	6947	-200	
4 3—4	220	415	746	-330	-330
	219	635	965		
	+1/-11	6424	6853	-429	
Постраничный контроль	$l_{\text{стр}} = 196,3 \text{ м}$	$\frac{[\Sigma \times]}{\times (3-\Pi)} / 2 =$ =-1600		$\Sigma h = -1600$	$\Sigma h_{\text{ср}} = -1600$

необходимо в регистры памяти 0, 7, 8, 9 и С ввести нуль, после чего нажать клавишу В/0 и приступить к вводу измеренных величин на новой станции. На обработку (табл. 47) одной страницы журнала затрачивается 4—5 мин.

Порядок работы оператора указан в табл. 48.

2. Обработка и оценка точности нивелирного хода

Программа предварительной обработки и оценки точности нивелирного хода (табл. 50) составлена с учетом следующей схемы вычислений:

$$\begin{aligned}
 L &= \sum l_i; \quad \Sigma h_t = H_k - H_n; \\
 f_{h\Pi} &= \Sigma h_{\Pi} + \Sigma h_o; \quad \Delta_s = h_{\Pi} - h_o; \\
 h_{\text{ср}} &= (h_{\Pi} + h_o)/2; \quad f_h = \sum h_{\text{ср}} - \Sigma h_t; \\
 f_{\text{доп}} &= \varepsilon \sqrt{L}; \quad H_{i+1} = H_i + h_{\text{ср}} + (l_i/L) f_h,
 \end{aligned}$$

где L — длина нивелирного хода; l_i — длина i -й секции нивелирного хода; Σh_t — теоретическая сумма превышений; H_n, H_k — отметки начального и конечного реперов; $f_{h\Pi}$ — разность превышений прямого и обратного хода; h_{Π}, h_o — превышение прямое и обратное; $h_{\text{ср}}$ — среднее превышение; f_h — полученная невязка хода; $f_{\text{доп}}$ —

Таблица 47

Программа обработки станций нивелирного хода

Шаг	Клавиша		Код	Шаг	Клавиша		Код
	БЗ-34	МК-54			БЗ-34	МК-54	
01	ИП3	П→Х3	63	40	ПС	Х→Пс	4
02	ИП1	П→Х1	61	41	ИПА	П→Ха	6—
03	—	—	11	42	ИПВ	П→Хв	6L
04	С/П	С/П	50	43	—	—	11
05	ПА	Х→Па	4—	44	F X>0	F X>0	59
06	ИП4	П→Х4	64	45	50	50	50
07	ИП2	П→Х2	62	46	ИПД	П→Хд	6Г
08	—	—	11	47	5	5	05
09	С/П	С/П	50	48	0	0	00
10	ПВ	Х→Пв	4L	49	+	+	10
11	—	—	11	50	БП	БП	51
12	С/П	С/П	50	51	55	55	55
13	ИП0	П→Х0	60	52	ИПД	П→Хд	6Г
14	+	+	10	53	5	5	05
15	П0	Х→П0	40	54	0	0	00
16	С/П	С/П	50	55	—	—	11
17	ИПА	П→Ха	6—	56	С/П	С/П	50
18	ИПВ	П→Хв	6L	57	ИП8	П→Х8	68
19	+	+	10	58	+	+	10
20	ИП9	П→Х9	69	59	П8	Х→П8	48
21	+	+	10	60	ИП3	П→Х3	63
22	П9	Х→П9	49	61	ИП5	П→Х5	65
23	ИП3	П→Х3	63	62	+	+	10
24	ИП4	П→Х4	64	63	ИП4	П→Х4	64
25	—	—	11	64	—	—	11
26	ПА	Х→Па	4—	65	ИП6	П→Х6	66
27	С/П	С/П	50	66	—	—	11
28	ИП5	П→Х5	65	67	2	2	02
29	ИП6	П→Х6	66	68	÷	÷	13
30	—	—	11	69	ИП7	П→Х7	67
31	ПВ	Х→Пв	4L	70	+	+	10
32	С/П	С/П	50	71	П7	Х→П7	47
33	ИПА	П→Ха	6—	72	ИП9	П→Х9	69
34	+	+	10	73	С/П	С/П	50
35	2	2	02	74	ИП7	П→Х7	67
36	÷	÷	13	75	С/П	С/П	50
37	ПД	Х→Пд	4Г	76	ИПС	П→Хс	6Г
38	ИПС	П→Хс	6Г	77	С/П	С/П	50
39	+	+	10	78	ИП8	П→Х8	68
				79	С/П	С/П	50

допустимая невязка хода; H_i — высотные отметки определяемых реперов; ϵ — допустимая невязка, определяемая по инструкции нивелирования.

Распределение регистров памяти

Величина:	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A
Регистр:	z	H_n	H_k	f_h	Σh_n	Σh_o	Σh_{cp}	L	h_n	h_o	h_{cp}
		H_l									

Таблица 48

Порядок работы оператора при обработке полевого журнала

№ п/п	Выполняемая операция	Клавиша		Индицируемое число
		БЗ-34	МК-54	
1	Включить микрокалькулятор		ВКЛ	0
2	Перевести в режим «Программирование» и ввести программу табл. 47		F ПРГ	00
3	Перевести в режим «Вычисление»		F АВТ В/0	0

Вычисления на станции

4	Ввести исходные данные:					
	O_1	П1	X→П1	486		
	O_3	П2	X→П2	241		
	O_2	П3	X→П3	726		
	O_4	П4	X→П4	484		
	O_6	П5	X→П5	6611		
	O_5	П6	X→П6	6268		
5	Вычисление l_3	С/П	С/П	240		
6	Вычисление l_p	С/П	С/П	243		
7	Вычисление Δ_1	С/П	С/П	-3		
8	Вычисление Δ_2	С/П	С/П	-3		
9	Вычисление h_c	С/П	С/П	242		
10	Вычисление h_k	С/П	С/П	343		
11	Вычисление h_{cp}					
12	Переход к вычислениям на следующей станции, повторить пункты 4—11	С/П	В/0	С/П	В/0	242

Постраничный контроль

13	Вычисление $l_{стр}$	С/П	С/П	1963
14	Вычисление $[\Sigma(3-P)]/2$	С/П	С/П	-1600
15	Вычисление Σh	С/П	С/П	-1600
16	Вычисление Δh_{cp}	С/П	С/П	-1600
17	Переход к обработке следующей страницы журнала	П0	X→П0	0
		П7	X→П7	0
		П8	X→П8	0
		П9	X→П9	0
		ПС	X→ПС	0
		В/0	В/0	0

При вычислении по программе исходные данные (табл. 49): ε (в долях метра), H_n и H_k — вводятся один раз для всего хода в регистры памяти 0, 1, 2 соответственно. Величины l_i , h_p и h_o вводятся с клавиатуры последовательно для каждой секции. Решение задачи заканчивается индикацией величин Δ_3 и h_{cp} , затем нажимают клавишу В/0 и вводят исходные данные для следующей секции: l_{i+1} ; $h_{p(i+1)}$; $h_{o(i+1)}$ и т. д. до обработки всех секций.

После индикации h_{cp} последней секции приступают к оценке точности хода. Для этого последовательно нажимают три раза клавишу С/П. После первого нажатия индицируется полученная невязка хода f_h , после второго — разность сумм превышений из

Таблица 49

Исходные данные и результаты решения ($\varepsilon=0,02$ м)

Название репера	Расстояние l_i , км	Измеренное превышение, м		Разность Δ_z , мм	Среднее превышение $h_{ср}$, м	Отметка над уровнем моря H_i , м
		прямой ход h_p	обратный ход h_o			
Начальный						
1	3,9	+14,119	-14,137	-0,018	+14,128	203,316
2	6,3	+11,246	-11,263	-0,017	+11,255	217,449
3	4,2	-18,677	+18,693	+0,016	-18,685	228,712
4	5,3	+23,621	-23,603	+0,018	+23,612	210,032
5	6,1	-26,893	+26,875	-0,018	-26,884	233,651
Конечный	5,8	+18,123	-18,109	+0,014	+18,116	206,774
						224,897
Контроль		$L=31,6$ км; $f_h=-39$ мм; $f_{h\text{ п}}=-5$ мм; $f_{\text{доп}}=\pm 112$ мм				

прямого и обратного хода $f_{h\text{п}}$, после третьего — допустимая невязка хода $f_{\text{доп}}$.

Если $f_h \leq f_{\text{доп}}$, то приступают к вычислению отметок высот реперов, при этом в программе f_h распределяется с обратным знаком на все превышения пропорционально длинам секций, для чего последовательно вводят l_i и $h_{ср}$.

Порядок работы оператора указан в табл. 51.

Программа предварительной обработки нивелирного хода

Шаг	Клавиша		Код	Шаг	Клавиша		Код
	Б3-34	МК-54			Б3-33	МК-54	
01	ИП7	П→Х7	67	30	ИП1	П→Х1	61
02	+	+	10	31	—	—	11
03	П7	Х→П7	47	32	ИП6	П→Х6	66
04	С/П	С/П	50	33	Х↔У	↔↔	14
05	П8	Х→П8	48	34	—	—	11
06	ИП4	П→Х4	64	35	П3	Х→П3	43
07	+	+	10	36	С/П	С/П	50
08	П4	Х→П4	44	37	ИП4	П→Х4	64
09	С/П	С/П	50	38	ИП5	П→Х5	65
10	П9	Х→П9	49	39	+	+	10
11	ИП5	П→Х5	65	40	С/П	С/П	50
12	+	+	10	41	ИП7	П→Х7	67
13	П5	Х→П5	45	42	FV—	FV—	21
14	ИП8	П→Х8	68	43	ИП0	П→Х0	60
15	ИП9	П→Х9	69	44	×	×	12
16	+	+	10	45	С/П	С/П	50
17	С/П	С/П	50	46	ИП7	П→Х7	67
18	ИП8	П→Х8	68	47	÷	÷	13
19	ИП9	П→Х9	69	48	ИП3	П→Х3	63
20	—	—	11	49	/—/	/—/	0L
21	2	2	02	50	×	×	12
22	÷	÷	13	51	↑	В↑	0E
23	ПА	Х→Па	4—	52	С/П	С/П	50
24	ИП6	П→Х6	66	53	+	+	10
25	+	+	10	54	ИП1	П→Х1	61
26	П6	Х→П6	46	55	+	+	10
27	ИПА	П→Ха	6—	56	П1	Х→П1	41
28	С/П	С/П	50	57	БП	БП	51
29	ИП2	П→Х2	62	58	44	44	44

Таблица 51

Порядок работы оператора при обработке нивелирного хода

№ п/п	Выполняемая операция	Клавиша		Индика- руемое число
		БЗ-34	МК-54	
1	Включить микрокалькулятор		ВКЛ	0
2	Перевести в режим «Программирование»		F ПРГ	00
3	Ввести программу табл. 50			
4	Перевести в режим «Вычисление»		F АВТ В/0	0
5	Ввести исходные данные:			
	ε	П0	X→П0	0,02
	H_N	П1	X→П1	203,316
	H_K	П2	X→П2	224,897
6	Ввод l_i		C/П	3,9
7	Ввод h_{ii}		C/П	14,119
8	Ввод h_o		C'П	-14,137
9	Вычисление Δ_s		C/П	-0,018
10	Вычисление h_{cp}		C/П	14,128
11	Переход к вычислению $h_{cp(i+1)}$ (выполнить пункты 6—10)		B/0	

Оценка точности хода

12	Вычисление полученной невязки f_h		C/П	-0,0395
13	Вычисление разности превышений прямого и обратного хода f_{hP}		C/П	-0,005
14	Вычисление допустимой невязки $f_{\text{доп}}$		C/П	0,112

Вычисление высотных отметок реперов

15	Ввод l_i		C/П	0,005
16	Ввод $h_{cp(i)}$ и вычисление H_i		C/П	217,449
17	Переход к вычислению H_{i+1} (выполнить пункты 15, 16)			

14. Перевычисление координат в новую систему

Программа (табл. 52) позволяет перевычислять координаты точек из одной системы в другую по заданному углу поворота и смещению начала координат на величины Δx и Δy .

В программе использованы формулы

$$x = \Delta x + x' \cos \varphi - y' \sin \varphi;$$

$$y = \Delta y + x' \sin \varphi + y' \cos \varphi,$$

где x, y — координаты точек в новой системе; x', y' — координаты точек в старой системе; φ — угол поворота новой координатной сетки относительно старой (положительное направление — против хода часовой стрелки); $\Delta x, \Delta y$ — величины переноса начала координат в новой системе (перед началом вычислений заносят в регистры памяти А и В).

Таблица 52
Программа перевычисления координат

Шаг	Клавиша	Код	Шаг	Клавиша	Код
01	П0	40	20	С/П	50
02	С/П	50	21	П3	43
03	↑	0Е	22	ИП0	60
04	6	06	23	×	12
05	0	00	24	—	11
06	÷	13	25	ИПА	6—
07	ИП0	60	26	+	10
08	+	10	27	С/П	50
09	П1	41	28	ИП2	62
10	F sin	1[29	ИП0	60
11	П0	40	30	×	12
12	ИП1	61	31	ИП3	63
13	F cos	1Г	32	ИП1	61
14	П1	41	33	×	12
15	С/П	50	34	+	10
16	П2	42	35	ИПВ	6L
17	ИП1	61	36	+	10
18	×	12	37	С/П	50
19	↑	0Е	38	БП	51
			39		14

Действия оператора при перевычислении координат указаны в табл. 53.

Пример. Исходные данные:

$$\Delta x = 1000,00; \Delta y = 1000,00;$$

$$\varphi = 45^{\circ}00'; x' = 8245,01; y' = -2003,99.$$

Результаты вычислений: $x = 8247,14; y = 5413,07$.

Порядок работы оператора при перевычислении координат

№ п/п	Выполняемая операция	Клавиша	Индика- руемое число
1	Включить микрокалькулятор	ВКЛ	0
2	Поставить переключатель «Радианы—Градусы» в положение «Градусы»	Р—Г	0
3	Перевести в режим «Программирование»	F ПРГ	00
4	Занести программу в соответствии с табл. 52		
5	Перевести в режим «Вычисление» и перевести программу на нулевой шаг	F АВТ В/0	0
6	Набрать исходные данные: Δx Δy Φ^o Φ'	ПА ПВ С/П С/П	1000 1000 45 0
7	Ввести координаты перевычисляемой точки: x' y'	С/П С/П	8245,01 —2003,99
8	Индикация перевычисленных координат: x y	С/П С/П	8247,1377 5413,0677
9	Переход к перевычислению координат следующей точки (выполнить пункты 7 и 8)	С/П	

Список литературы

1. Баландин В. Н. Решение геодезических задач на микрокалькуляторе «Электроника МК-56». — Экспресс-информация ЦНИИГАиК, 1985, вып. 3, 24 с.
2. Лужецкий В. Г., Тимофеев А. Н. Применение мини-ЭВМ и микроЭВМ в геодезии. — Обзорная информация ЦНИИГАиК, 1982, вып. 64, 67.
3. Мазницкий А. С., Щупель С. А. Решение геодезических задач на микрокалькуляторах «Электроника» МК-61 и МК-52. — Геодезия и картография, 1985, № 6, с. 53.
4. Маминов Б. Н. Применение микро-ЭВМ при автоматизации проектно-изыскательских работ. — М.: Тр. Гипродорнии, 1983, с. 47—56.
5. Урюпин Н. В. «Электроника Д3-28» на геодезических вычислениях. — Геодезия и картография, 1982, № 1, с. 32.
6. Цимлинг Ш. Е. Специальные функции. Программы для микрокалькулятора «Электроника Б3-21». — Радио и связь, 1983, 120 с.
7. Цветков А. И., Епанечников В. А. Прикладные программы для микро-ЭВМ «Электроника Б3-34», «Электроника МК-56», «Электроника МК-54». М.: Финансы и статистика, 1984, 174 с.
8. Щупель С. А. Решение обратной геодезической задачи на программируемых микрокалькуляторах. — Геодезия и картография, 1985, № 7, с. 51—52.

Оглавление

Предисловие	3
Г л а в а 1. Общие сведения о малых ЭВМ	4
§ 1. Структура микрокалькуляторов и ЭКВМ	4
§ 2. Назначение основных клавиш микрокалькуляторов и ЭКВМ	8
§ 3. Представление чисел в микрокалькуляторах и ЭКВМ	8
Г л а в а 2. Геодезические вычисления с помощью непрограммируемых микрокалькуляторов	13
§ 4. Вычисления на микрокалькуляторе «Электроника Б3-18М»	13
§ 5. Вычисления на микрокалькуляторе «Электроника С3-15»	15
Г л а в а 3. Геодезические вычисления с помощью программируемых микрокалькуляторов	17
§ 6. Составление алгоритма	18
§ 7. Программирование	21
§ 8. Вычисления на микрокалькуляторе «Электроника Б3-21»	22
§ 9. Вычисления на микрокалькуляторе «Электроника Б3-34»	27
§ 10. Микрокалькуляторы серии «Электроника»: МК-52, МК-54, МК-56, МК-61	30
Г л а в а 4. Геодезические вычисления с помощью ЭКВМ	31
§ 11. Вычисления на ЭКВМ «Электроника Т3-16»	32
§ 12. Вычисления на ЭКВМ «Искра-125»	36
§ 13. Вычисления на микроЭВМ «Электроника Д3-28»	42
Приложения для решения геодезических задач на микрокалькуляторе «Электроника Б3-21»	43
1. Обработка тахеометрического хода (съемки)	43
2. Вычисление координат точек теодолитного хода	44
3. Решение обратной геодезической задачи	46
Приложения для решения геодезических задач на микрокалькуляторах «Электроника»: Б3-34, МК-54, МК-56, МК-61 и МК-52	48
4. Решение треугольника	50
5. Вычисление поправок за центрировку и редукцию	51
6. Обработка тахеометрического хода (съемки)	51
7. Обработка теодолитного хода	57
8. Обратная геодезическая задача	61
9. Прямая засечка	61
10. Обратная засечка	65
11. Полярная засечка	67
12. Линейная засечка	68
13. Обработка геометрического нивелирования	70
14. Перевычисление координат в новую систему	78
Список литературы	79

35 коп.

НЕДРА