ГОСГЕОДЕЗИЯ СССР

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ГЕОДЕЗИИ
АЭРОСЪЕМКИ И КАРТОГРАФИИ им. Ф.Н.КРАСОВСКОГО

УТВЕРЖДАЮ
Зам. директора ЦНИИГАиК
М.Г.Герасименко
12.05 1991 г

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ СВЕТОДАЛЬНОМЕРОМ ВЫСОКОТОЧНЫМ ГЕОДЕЗИЧЕСКИМ (СВГ)

МИ БГЕИ II-91

МВИ аттестована ЦНИИГАиК

Зав. ОСМОГИ А.И.Спиридонов

Исполнители А.С.Трофимов
Ф.В.Широв
А.Н.Минченко

1991

gost.e-ecolog.ru

I. Введение

I.I. Назначение методики.

Настоящая методика разработана с целью описания методических приемов, рекомендуемых при измерениях дальномером СВГ базисов 2-го разряда и специальных базовых линий (линий геодинамических полигонов, расстояний в целях прикладной геодезии). Методика предполагает знакомство пользователя с техническим описанием (ТО) и инструкцией по эксплуатации (ИЭ) дальномера, она составлена по результатам исследований СВГ в период его разработки и полевых испытаний в 1990 – 91 гг.

I.2. Краткие сведения об устройстве СВГ и принципе его действия

В соответствии с ТЗ основные параметры СВГ следующие:

- дальность действия от 0,5 до 10 км;
- температурный диапазон применения от + 10 до + 30 °С;
- потребляемая мощность ~ 70 Вт;
- дальномер является нестандартизованным средством измерения, каждый экземпляр которого должен проходить ведомственную метрологическую аттестацию.

В состав дальномера входят:

- приемо-передатчик;
- блок управления;
- центрировочный столик;
- подставка приемо-передатчика;
- комплект электронных датчиков температуры для определения вертикального температурного градиента;
- 2 мачты для подъема датчиков на высоту до 10 м;
- два комплекта метеоприборов (анероид типа М 67, психрометр типа МВ 4М);
- отражатель с подставкой и центрировочный столик отражателя;

- аккумулятор;
- штативы.

Приемо-передатчик является оптико-электронным блоком, выполняющим функцию формирования сигнала, передаваемого на отражатель, и обработки сигнала, принятого с отражателя. Структурно он включает в себя 2 канала - канал разрешения неоднозначности (РН) и канал уточнения расстояния (УР). В приемо-передатчике предусмотрена поисковая труба для наведения на отражатель.

Блок управления обеспечивает выполнение следующих функций:

а) установку временного интервала между импульсами по предварительно известному (с точностью до сотен метров) расстоянию;

б) генерирование стабильного уровня СВЧ импульсной мощности на выходной частоте 600 МГц;

в) перестройку входной задающей частоты 10 МГц в пределах 5 кГц;,

г) индикацию уровня сигнала;

д) индикацию текущей частоты.

Совместная работа блока управления и приемо-передатчика в основном сводится к следующим операциям:

- включение СВЧ-генератора и настройка модулятора-демодулятора
- установка интервала между импульсами;
- перестройка частоты задающего генератора до получения минимума сигнала с фотоприемника.

В качестве источника излучения используется гелий-неоновый лазер типа ЛГН-207А с $\lambda_{изл.}$ = 0.6328 мкм; в качестве индикатора амплитуды импульса применяется осциллограф С1-101; в качестве измерителя частоты - счетчик частоты.

Подставки приемо-передатчика и отражателя аналогичны и позволяют выполнять взаимное наведение прибора и отражателя. В подставки встроен оптический центрир для точного центрирования над маркой, которое осуществляется при помощи центрировочного столика (предел перемещения ± 10 мм по двум координатам).

СВГ работает по принципу компенсационного способа экстремума, причем достижение минимума[1] между огибающими посланного (опорного) и принятого световых потоков осуществляется в едином СВЧ модуляторе-демодуляторе изменением масштабной частоты в рабочем диапазоне 600 МГц ± 300 кГц.

Более подробные сведения об устройстве СВГ и принципе его действия см. в ТО и ИЭ. (СВГ.00.00.000.ТО)

---

[1] В дальнейшем изложении это понятие в качестве термина будем брать в кавычки для выделения его среди других минимумов.

2. Измерение линий светодальномером СВГ

2.1. Режим разрешения неоднозначности

Для разрешения неоднозначности канала точного измерения необходимо знать приближенное значение расстояния с предельной погрешностью 60 мм. Оно может быть известно заранее, либо получено с применением канала разрешения неоднозначности дальномера по методике, изложенной в ИЭ СВГ.

2.2. Режим уточнения расстояния

2.2.1. В режиме уточнения расстояния используется метод плавного изменения масштабной частоты; информация о разности фаз опорного и информационного сигналов подается на электрод электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) осциллографа и представляется на экране ЭЛТ в виде сигнала, уровень которого пропорционален разности фаз. Минимум этого сигнала соответствует уложению целого числа N полуволн плюс 1/2 масштабной частоты в измеряемом расстоянии.

Для конкретного измеряемого расстояния $\mathcal{D}$ возможно существует не одна, а несколько частот из диапазона 600 - 600,30 кГц которым соответствует целое число полуволн плюс 1/2, укладывающихся в измеряемом расстоянии. При изменении числа уложенных в расстояние полуволн на 1, масштабная частота должна получить приращение

$$\Delta f = \frac{v}{2\mathcal{D}_{км}} = \frac{3 \cdot 10^2}{2\mathcal{D}_{км}} \text{ кГц}$$

где v – скорость света. Используя это выражение, можно найти n – число "минимумов" для измеряемого расстояния в диапазона частот 600 000 – 600 300 кГц, округляя n до ближайшего целого в выражении

$$n = \frac{600\,300 - 600\,000}{\Delta f} = \frac{3{,}0 \cdot 10^2}{\Delta f}$$

Таблица I

Приращения частот при увеличении N на I и число минимумов для диапазона 600,0 – 600,30 МГц

параметры	расстояния (км)						
	0,5	I,0	2,0	3,0	5,0	8,0	I0,0
Δf кГц	300	I50	75	50	30	I0.8	I5
$\frac{\Delta f}{60}$ кГц	5,0	2,5	I,25	0,83	0,50	0,3I	0,25
n	I	2	4	6	I0	I6	20

Для тех случаев, когда $n \geqslant 2$ измерения при помощи СВГ рекомендуется проводить на двух частотах, близких к середине диапазона масштабной частоты. Так как на восьмиразрядном табло СВГ высвечивается F – значение масштабной частоты, деленное на 60 (т.е. $F = \frac{f}{60}$), то среднему значению f = 600 I50 кГц соответствует значение на табло, равное I0 003 000 Гц.

2.2.2. Операции единичного измерения, связанные с принципом действия и конструкцией дальномера

Таких операций 4: ПРОГРЕВ прибора, НАСТРОЙКА СВЧ модулятора, УСТАНОВКА ВРЕМЕННОГО ИНТЕРВАЛА между импульсами, РЕГУЛИРОВАНИЕ СИГНАЛА.

ПРОГРЕВ прибора выполняется не менее 5 минут до начала работ

Следующие две из перечисленных ниже операций выполняются в режиме "контроль" на осциллографе.

НАСТРОЙКА СВЧ модулятора контролируется по экрану осциллограф ширина импульса устанавливается равной приблизительно ширине одной клетки при помощи ручки "время/деление", а ручка "V/деление должна находиться в положении 0,2; ручкой "настройка СВГ" настроит СВЧ модулятор в резонанс, добиваясь максимальной амплитуды сигнала на осциллографе, при этом амплитуда сигнала должна быть не менее 3 клеток увеличение сигнала соответствует смещению его следа на экране ЭЛТ вниз.

УСТАНОВКА ВРЕМЕННОГО ИНТЕРВАЛА между импульсами выполняется после вычисления из выражения

$$t_{имп} = D_{км} \cdot 7 \text{ мкс}$$

времени прохождения импульсом измеряемого расстояния. В процессе УСТАНОВКИ ВРЕМЕННОГО ИНТЕРВАЛА ручками "ГРУБО", "ТОЧНО" добиваются, чтобы расстояние между первым и вторым импульсом на экране осциллографа было равно вычисленному значению $t_{имп}$, принимая во внимание, что ширина импульса соответствует 15 мкс. Затем осциллограф переключают в режим "измерение" и выполняют действия по следующему алгоритму.

РЕГУЛИРОВАНИЕ СИГНАЛА (алгоритм)

1. Навести дальномер по максимуму отраженного света в трубе оптического канала.

2. Установить на осциллографе усиление 0,2.

3. Открыть клин.

4. Меняя частоту, найти максимальную амплитуду сигнала на экране осциллографа; уточнить амплитуду и форму сигнала и расстояние между импульсами УСТАНОВКОЙ ВРЕМЕННОГО ИНТЕРВАЛА.

5. Отношение максимальной амплитуды сигнала к амплитуде "блика" [1] больше двух? Если да, то перейти к 6. Если нет, то перейти к 8.

6. Если усиление на осциллографе обеспечивает максимальную чувствительность, то перейти к 7, если нет, то перейти к 8 (Оптимальное отношение сигнал/блик более 3 ÷ 4).

7. Выполнить уменьшение сигнала (в случае необходимости) изменением положения клина. Перейти к 9.

8. Увеличить усиление на осциллографе, переводя ручку "Усиление" в следующее положение. Перейти к пункту 4.

9. Перейти к измерениям расстояния.

---

1) "блик" – сигнал, обусловленный отраженными в оптическом канале приемо-передатчика.

2.2.3. Методика регистрации "минимума", содержание приема измерений, оценка точности

Регистрация частоты, соответствующей "минимуму", выполняется следующим образом:

– вращением ручки изменения частоты в сторону увеличения частоты добиваются уменьшения сигнала до минимума и берут отсчет F_1 по табло восьмиразрядного счетчика;

– вращают ручку частоты в ту же сторону до заметного увеличения сигнала;

– начинают вращение ручки частоты в обратную сторону, добиваясь уменьшения сигнала до минимума, и берут отсчет F_2 по табло восьмиразрядного счетчика.

Таким образом, регистрация "минимума" осуществляется при подходе слева и справа; одна серия наблюдения "минимума" включает 5 пар зарегистрированных значений частоты. Один прием измерений расстояния включает в себя 3 серии наблюдений "минимума". После каждой серии выполняют новое наведение на отражатель и контроль настройки СВЧ, временного интервала и действия по алгоритму РЕГУЛИРОВАНИЕ СИГНАЛА. Образец записи в журнале измерений приведен в разделе 3.

Перед началом приема и по его окончании регистрируют метеопараметры в "Полевом журнале метеоданных" (образец записей метеопараметров на конечных точках линии см. след. стр.). Давление измеряют при помощи барометров-анероидов класса М 67, температуру воздуха и влажность – при помощи психрометров типа МВ 4М, укрепленных на высоте не менее 1,7 м над землей и защищенных от прямого воздействия солнечной радиации. Одновременно с метеоданными регистрируют показания верхнего и нижнего датчиков на мачте и для каждого приема вычисляется текущее значение вертикального градиента температуры по формуле $\gamma = \frac{t^*_{дв} - t^*_{дн} + \Delta_к}{h_{нв}}$

где $h_{нв}$ – расстояние между верхним и нижним датчиками; $t^*_{дв}$ и $t^*_{дн}$,

КАЛИБРОВКА ДАТЧИКОВ ТЕМПЕРАТУРЫ

Пункт Бел. Раст Дата 29.08.90 Исполнители Ташевян, Морозов

время	прибор	номера отсчетов						средн. знач.
		1	2	3	4	5	6	
16/30	сухой терм.	10.0	10.1	10.1	10.0	10.0	10.0	$\bar{t}_{пс} = 10$
	верхн. датчик	12.2	12.4	12.1	12.3	12.3	12.3	$\bar{t}_{дв} = 12$
	нижн. датчик	9.8	9.3	9.8	9.7	9.7	9.6	$\bar{t}_{дн} = 9$
18/10	сухой терм.	7.3	7.3	7.4	7.3	7.3	7.3	$\bar{t}_{пс} = 7.$
	верхний датчик	9.3	9.2	9.1	9.3	9.3	9.3	$\bar{t}_{дв} = 9.$
	нижний датчик	7.0	6.9	6.7	6.9	6.9	6.7	$\bar{t}_{дн} = 6.$

Поправки в отсчеты по датчикам: $\Delta t_в = \bar{t}_{пс} - \bar{t}_{дв}$; $\Delta t_н = \bar{t}_{пс} - \bar{t}_{дн}$

Исправленные за калибровку показания датчиков вычислять по формулам: $t_{дв} = t^*_{дв} + \Delta t_в$; $t_{дн} = t^*_{дн} + \Delta t_н$.

Поправка $\Delta_к$ в разность $t^*_{дв} - t^*_{дн}$ за калибровку датчиков для учета ее при вычислениях вертикального градиента: $\Delta_к = \bar{t}_{дн} - \bar{t}_{дв}$.

Если абсолютное значение $|\Delta^к_к - \Delta^н_к|$ разности начального $\Delta^н_к$ и конечного $\Delta^к_к$ значений $\Delta_к$ превосходит 0,7°С, то для вычисления вертикального градиента выполнить интерполирование на время измерения градиента.

МЕТЕОДАННЫЕ

Пункт Бел. Раст Дата 29.08.90 Погода ясно, безветрие

Исполнители Ташевян, Морозов Датчики: верхн. № 006 нижн. № 00

Барометр № 2611 $\Delta^н_к = -2.6$; $\Delta^к_к = -2.4$; $\Delta_к = -2.5$;

Психрометр № 1320 $\Delta t_{пс} = +0.2$; $\Delta t_{пв} = 0.0$; $h_{нв} = 8.0$

№ п/п	время	отсчеты по психром.		отсчеты по барометру и поправки к ним				показ. датчиков		$\Delta_к$	вертик. градиент $= \frac{t^*_{дв} - t^*_{дн}}{h_{нв}}$
		$t^*_{пс}$	$t^*_{пв}$	P^*	$\Delta_ш$	Δ_t	$\Delta_{доб}$	$t^*_{дв}$	$t^*_{дн}$		
1	17/00	8.9	5.4	740.0	+0.4	-0.4	+0.3	11.2	9.1	-2.5	-0.05
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											

соответственно, показания верхнего и нижнего датчиков; Δ_K – поправка за калибровку датчиков в разность их показаний (беруг из "Полевого журнала метеоданных").

При отсутствии постоянной радиосвязи между конечными пунктами метеоданные у отражателя регистрируют с интервалом IO м и затем интерполяцией вычисляют значения метеоданных на момент измерений и эти значения заносят в журнал измерения расстояний.

По результатам исследования дальномера получено, что оптимальным числом приемов является 8. При наличии 2 и более "минимумов" расстояние измеряется 4 приемами на каждом из двух "минимумов", находящихся в середине частотного диапазона.

Все измерения линий до 3 км рекомендуется выполнять с диафрагмой $\varnothing = \sim$IOO мм на отражателе. При расстояниях менее 2 км такая диафрагма обязательна. Допустимый угол наклона дальномерного луча к горизонту не должен превышать 2^0, чтобы не вносить заметной погрешности за наклон плоскости призмы-отражателя.

Совокупность измерений, включающую 8 приемов будем называть программой. Независимо от того, было ли выполнено целое число программ или одна из них осталась незавершенной (например, из-за ухудшения видимости) в обработку следует взять все завершенные приемы: вычислить $\bar{Д}$ – среднее значение из всех, полученных в приемах значений $Д_д$, и найти ср.кв.погрешность измерения одним приемом

$$m_д = \sqrt{\frac{\Sigma (Д_д - \bar{Д})^2}{n - I}} \qquad (I)$$

где n – число всех приемов, принятых в обработку. Ср.кв.погрешность измерения одной программой находится из выражения

$$M_п = \sqrt{\frac{m_д^2}{n} + M_к^2} \qquad (2)$$

где $M_к$ – ср.кв. погр. определения k из свидетельства об аттестации.
Ср.кв.погрешность измеряемой линии вычислить по формуле

$$M_{Д} = \sqrt{\frac{\sum (Д_{Д} - \bar{Д})^2}{n(n-1)} + M_{к}^2} \qquad (3)$$

где n – число приемов измерений, принятых в обработку по данной линии; $\bar{Д}$ – среднее значение длины линии, вычисленное из всех значений $Д_{Д}$, принятых в обработку по данной линии.

2.2.4. Особенности измерения линий до I км

Основными особенностями измерения коротких линий являются повышенные требования к точности центрирования, к наведению отражателя на приемо-передатчик и менее жесткие требования к метеоусловиям, и, как следствие, к организации измерений метеопараметров. На отражатель надевают бленду с отверстием $\varnothing \sim 100$ в центральной части.

Для ослабления влияния ошибок центрирования короткая линия должна быть закреплена знаками в виде пилонов, на верхнюю плоскость которых устанавливаются дальномер и отражатель. Центрирование приемо-передатчика и отражателя выполняется при помощи центрировочного столика и центрира, встроенного в подставку прибора и отражателя. Для исключения эксцентриситета посадочного шарика подставки относительно вертикальной оси вращения измерение расстояния необходимо выполнить при двух положениях подставки, отличных на 180° (половина измерений выполняется при положении подставки 0°, другая – при положении 180°). После каждой установки отражатель должен быть приведен в вертикальное положение посредством уровня отражателя и подъемных винтов координатного столика. В случае, если отражатель устанавливается на знак, центром которого является дюймовая втулка, вмонтированная в плиту знака, его центрирование осуществляется путем посадки шарика, находящегося в основании отражателя, непосредственно во втулку знака. Вертикальность отражателя достигается вращением специальных подъемных винтов, находящихся в ободке нижней части отражателя

Ошибка измерения высоты приемо-передатчика и отражателя над маркам базиса не должна превышать 2 мм, для чего на корпусах приборов должны быть нанесены следы горизонтальных осей. Ориентрование отражателя на приемо-передатчик обязательно осуществляется при помощи оптического визира.

Так же как и на базисах более 1 км для уменьшения влияния метеоусловий на коротких расстояниях выполняют измерения в период изотермии, однако на коротких базисах можно ограничиться измерением вертикального градиента только в одной из конечных точек.

Измерения коротких расстояний можно проводить, если значения температурного градиента на одном из концов базиса находится в интервале $-0{,}06 \div 0{,}15$ °С/м и при этом флюктуация сигнала позволяет уверенно регистрировать минимум на экране осциллографа. Температура и влажность должны измеряться в обеих концевых точках.

Измерения следует выполнять в две видимости, в каждую – не менее, чем восьмью приемами (в совокупности это составит две программы). Желательно, чтобы измерения состояли из "прямых" и "обратных".

2.2.5. Особенности измерения линий длиной более 1 км

Основной особенностью измерения таких линий являются повышенные требования к учету метеопараметров. Поэтому измерения следует выполнять только в период изотермии, наступление которого характеризуется вертикальным градиентом, не превышающем по абсолютной величине 0,06 °/м. Для контроля за наступлением этого периода используются на обоих концах измеряемой линии мачты высотой 10 м с укрепленными на них вверху и внизу датчиками температуры. Перед началом и после окончания измерений выполняют калибровку этих датчиков по термометру психрометра (см. Инструкцию по эксплуатации СЭГ). Если по результатам заключительной калибровки датчиков окажется, что во время измерений вертикальный градиент температуры на одном из концов базиса превышает 0,06 °/, то дальномерные измерения

следует повторить.

Минимальная допустимая высота луча в промежутках между конечными точками измеряемого расстояния не должна быть менее 2 м. Максимально допустимая средняя по всему лучу высота – не более 30 м.

Поскольку влияние метеопараметров на результаты измерений СВГ довольно заметно, следует повторить измерения, если ср.кв. погрешность одного приема, вычисленная по всем приемам (формула I превысит указанные в таблице ∼ значения.

Таблица 3

предельные значения Д (км)	ср.кв. погрешность (мм) одного приема
I	1,5
2	2,5
5	3,0
7	3,6
I0	5,0

2.2.6. Особенности применения СВГ для измерений на базисах 2-го разряда

В соответствии с РТМ-8.12-85 базисы 2-го и 3-го разрядов обеспечивают закрепление следующих интервалов: 24 м; 48 м, 72 м, 96 м, 192 м, 288 м, 384 м, 480 м, 964 м, 1486 м, 2016 м, 3000 м. Для интервалов, превышающих 0,5км рекомендуется выполнить дальномером СВГ прямые измерения каждого из них не менее, чем четырьмя программами, не менее, чем в две видимости. Измеренным значением следует считать среднее Д из всех приемов измерений, приписывая ему ср.кв. погрешность, вычисленную по формуле (3).

Измерения следует начинать с минимального расстояния, выполнив на нем 2 программы с тем, чтобы вторые две программы исполнить после завершения измерений на всех остальных интервалах; это

позволит проконтролировать постоянство приборной поправки на данном базисе. Пригодность измерений предварительно можно оценить по формуле (1) и табл. 2. Для измерений расстояний, меньших 500 м, на базисах 2-го разряда рекомендуется или использовать дальномер типа СТ (см. РТМ 68-8.15-66) или получать короткое расстояние как разность D_R прямых измерений расстояний D_1 и D_2, оба из которых должны быть не менее 500 м. Ср.кв. погрешность m_{DR}, полученных таким образом расстояний, находится из выражения

$$m_{DR} = \sqrt{m_{D1}^2 + m_{D2}^2},$$

где m_{D1} и m_{D2} – ср.кв. погрешности расстояний, участвующих в вычислении, значения которых получены по формуле (3).

Так как отражатель СВГ не имеет горизонтальной оси, что не позволяет выставить его плоскость точно перпендикулярно направлению на приемо-передатчик, при измерениях базиса 3-го разряда можно допустить угол наклона дальномерного луча не более 2^0 по абсолютной величине на каждом измеряемом отрезке.

Более подробные сведения о применении СВГ на базисах 3-го разряда должны быть приведены в соответствующем РТМ.

3. Запись и обработка результатов измерений

3.1. Форма журнала для записей данных при измерениях расстояний выполняемых в режиме уточнения расстояний, приведена на следующей странице. Она предусматривает размещение на одной странице журнала записей во время двух последовательных приемов, каждый из которых начинается и заканчивается регистрацией метеоданных. Эта форма журнала расчитана на ручную обработку результатов измерений; при использовании автоматизированных способов вычислений поле "Определение числа полуволн + 0,5" и поле "Вычисление $D_д$" не будут заполняться.

Приняты следующие обозначения:

$t_{дн}$, $t_{дв}$ – значения температуры воздуха, соответственно, по нижнему и верхнему датчикам, установленным на мачте, после введения поправок $\Delta t_н$, $\Delta t_в$ за калибровку;

$t_{пс}$, $t_{пв}$ – значения температуры, соответственно, по сухому и влажному термометрам психрометра, после введения поправок $\Delta t_{пс}$ и $\Delta t_{пв}$ в показания термометров;

P – значение давления после введения поправок в показания анероида;

δ_{tP} – поправка в расстояние за температуру и давление;

δ_e – поправка в расстояние за влажность;

D_o – значение расстояния, вычисленное для начальных условий $t = 0\ ^oC$, $P = 760$ мм рт.ст.; $e = ?$

k – приборная поправка дальномера в канале уточнения расстояний для данной пары прибор–отражатель;

Δ_ν – поправка за наклон оптического канала дальномера (ДП) к горизонту;

D^* – приближенное значение измеряемого расстояния, полученное в канале разрешения неоднозначности или другим способом;

$\lambda_o/2$ – длина полуволны масштабной частоты для начальных условий $t = 0\ ^oC$, $P = 760$ мм рт.ст.; $e = ?$

$D_д$ – значение расстояния, вычисленное по показаниям дальномера с учетом метеоданных и приборной поправки;

П, О – обозначение конечных точек измеряемого расстояния, в которых размещены, соответственно, прибор и отражатель;

i, v – высоты прибора и отражателя над конечными точками.

Символы, дополненные сверху чертой, обозначают среднее значение соответствующей величины. Предварительная обработка метеорологических измерений заключается в вычислении метопараметров введение соответствующих поправок к отсчетам по приборам, занесении этих параметров в журнал измерений расстояний, в поле "Вычисление $D_д$" зано-

Измеряет Шаров Пункт кабина №4 $i = 0{,}42$ м 16.

Записывает Трекин Линия Бел. Раст $v = 1.54$ м

точка	время	$t_{пс}$	$t_{пв}$	P	γ
П	17/00	9.3	5.6	740.5	−0.03
О	17/00	9.1	5.4	740.3	−0.05

Дата 29.08.90

D^*	9 528 280

Отсчеты F, прием № 1

серия 1		серия 2		серия 3	
2958	2985	2970	2983	2974	2983
50	90	55	92	64	81
70	91	72	70	84	62
61	73	56	70	62	57
56	68	62	66	78	54

Вычисление $D_д$

$\bar{t}_{пс}$	9.1
$\bar{t}_{пв}$	5.4
$\bar{P}$	740.3
δ_{tp}	163.7
δ_e	2.8
k	− 214.2
D_o	9 528 334.0
$D_д$	9 528 286.3

Определение числа полуволн + 0,5

$\bar{F}$	$f = 1\cdot10^7 + \bar{F}$	$\lambda_o/2$	$D^* - \delta_{мет} - k$	$N + 0.5$
2970	10 002 970	249.677 93	9 528 327.7	38 162.5

точка	время	$t_{пс}$	$t_{пв}$	P	γ
П	17/05	9.1	5.4	740.3	−0.05
О		8.9	5.2	740.1	−0.03

Отсчеты F, прием № 2

серия 1		серия 2		серия 3	

Вычисление $D_д$

$\bar{t}_{пс}$	
$\bar{t}_{пв}$	
$\bar{P}$	
δ_{tp}	
δ_e	
k	
D_o	
$D_д$	

Определение числа полуволн + 0,5

$\bar{F}$	$f = 1\cdot10^7 + \bar{F}$	$\lambda_o/2$	$D^* - \delta_{мет} - k$	$N + 0.5$

очка	время	$t_{пс}$	$t_{пв}$	P	γ
П					
О					

$t_{пс} = t^*_{пс} + \Delta t_{пс}$; $t_{пв} = t^*_{пв} + \Delta t_{пв}$; $P = P^* + \Delta_ш + \Delta_t + \Delta_{доб}$

$\gamma = \dfrac{t^*_{дв} - t^*_{дн} + \Delta_к}{h_{нв}}$; исходные данные для вычисления $t_{пс}$, $t_{пв}$, P, γ см. Метеожурнал № , №

$$\tau = \frac{\lambda_0}{2}(N + 0{,}5) + \ell + \xi_{\ldots} + \lambda + \xi_{\alpha}$$

$$\frac{\lambda}{2} = \frac{c}{2 f n_0} = \frac{299\,792\,46 \cdot 10^4}{2 \cdot 3200 \cdot 10^6 \cdot 1{,}00030011} = \frac{299792{,}46}{2 \cdot 3200 \cdot 1{,}00030011} =$$

$$= \frac{299792{,}46}{6400\,(1 + 0{,}00030011)} = \frac{299792{,}46}{6401{,}420704} = 46{,}[illegible]17$$

сится среднее из четырех значений $t_{пс}$, $t_{пв}$, P в точках И, О до и после приема измерений.

Ниже приводится алгоритм и программа вычисления $\mathcal{D}_Д$.

3.2. Алгоритм

$$\mathcal{D}_Д = \mathcal{D}_0 + \delta_{мет} + k + \Delta_1$$

3.2.I. $\mathcal{D}_0 = (N + 0,5)\frac{\lambda_0}{2}$

(N + 0,5) находится по значению дроби, дающей приближенное значен

$$(N+0,5)^* = \frac{\mathcal{D}^* - \delta_{мет} - k}{\lambda_0/2}$$

следующим образом: (N + 0,5) должно равняться числу, дробная часть ктoрого равна 0,5 и которое является ближайшим к $(N+0,5)^*$;

$\frac{\lambda_0}{2}$ – длина полуволны масштабной частоты, вычисленная для условий $t = 0^0C$, P = 760 мм рт.ст. e = $e = 0$

$$\frac{\lambda_0}{2} = \frac{1}{2}\cdot\frac{v_0}{60f} = \frac{1}{2}\cdot\frac{c}{1+N_0}\cdot\frac{1}{60f} = \frac{c}{120(1+N_0)}\cdot\frac{1}{f} = \frac{24975209\cdot 10^2}{f}$$

где: c = 299 792,46·10^6 мм/с – скорость света в вакууме,

N_0 = 300,11 $\cdot 10^6$ – групповой индекс преломления для $t = 0^0C$,

P = 760 мм рт.ст., e

f =(I·10^7 + $\bar{F}$) измеренное значение масштабной частоты

($\bar{F}$ – средний для данного приема отсчет по табло),

60 – коэффициент умножения, реализуемый в дальномере для получения масштабной частоты.

3.2.2. $\delta_{мет} = (N_0 - N_{мет})\mathcal{D}^* \cdot 10^{-6}$

$\mathcal{D}^*$ – грубое значение измеряемого расстояния, выраженное в мм, получаемое из предварительных измерений с ошибкой не более 60 мм,

N_0 – см. п.3.2.I.

$N_{мет}$ – групповой индекс преломления, вычисленный для метеорологических условий измерения, см."Справочник геодезиста" под ред. В.Д.Большакова).

$$N_{мет} = (\,107,87P - 15,65e\,)\frac{1}{t + 273,16}$$

где: P – давление в мм рт.ст.;

t – температура воздуха в ^0C;

e – абсолютное значение влажности в мм рт.ст.

Значение e находится из выражения (ГОСТ 8.524-85)

$$e = 0.75\, E_0 \exp\left[\frac{\alpha t_{пв}}{\beta + t_{пв}}\right] - AP(t_{пс} - t_{пв}) =$$

$$= 4.584 \exp\left[\frac{\alpha t_{пв}}{\beta + t_{пв}}\right] - AP(t_{пс} - t_{пв}),$$

где: $t_{пв}$ – температура влажного термометра в °С; $t_{пс}$ – температура сухого термометра в °С; P – давление в мм рт.ст.; $A = 662 \cdot 10^{-6}$ °С$^{-1}$ – психрометрический коэффициент для аспирационного психрометра типов МВ-4 и М-34; α = 17,50; β = 241,2 °С (для воды).

3.2.3. k – приборная поправка, получаемая для системы дальномер – отражатель. При измерениях СГП можно использовать несколько отражателей, соответственно, приборная поправка в каждом случае будет своя, что должно быть учтено при обработке измерений. Подробно об определении k см. раздел 4.

3.3. Реализация алгоритма на микрокалькуляторе "Электроника" МК 52[1)]

3.3.1. Инструкция для пользователя

Ввод информации в адресуемые регистры выполняют по следующей таблице

---

1) Пример вычисления $Д_д$ вручную см. Приложение 1.

раметр	$t_{пс}$	$t_{пв}$	P	4.584	I7.50	24I.2	273.I6	$662 \cdot I0^{6}$
гистр	I	2	3	4	5	6	7	8

раметр	I07.87	I5.65	$24975209 \cdot I0^{2}$	k	$\Delta^{*}_{мм}$	300.II	
гистр	9	C	A	B	C	D	

ачение Δ^{*} в миллиметрах вводят повторно при переходе от линии; значения k вводят повторно при замене отражателя. В гистры I,2,3 информация вводится для каждого приёма. Информа- в других адресуемых регистрах сохраняется постоянной. При работке одного приёма по программе (перед пуском её) в регистр следует занести значение $\bar{F}$ - среднее значение частоты, полу- ное в данном приёме по показаниям цифрового табло. Таким разом, если в регистры с $4^{го}$ по D уже вся информация занесена, для начала счёта очередного приёма измерения необходимо внести: в рег. I , $t_{п}$ - в рег. 2 , P-в рег.3 , $\bar{F}$ - в рег. B ; после го нажать В/О , С/П и программа начнёт счёт.

3.3.2. Считывание программы из ШЗУ МК 52 и её перезапись

В соответствии с паспортом программа или содержание адресуемых гистров, записанные в ШЗУ могут храниться там до 208 дней, ли питание отключено, и не менее I0 дней, если к ШЗУ осущест- ют обращение. При включении и выключении МК 52 переключатель В/СЧ устанавливают на СЧ.

Программа вычисления $\Delta_{д}$ записана двумя блоками - блок кста программы, использующий 77 шагов, и блок адресуемых ре- тров, использующий 80 шагов. Для считывания блока текста тавить переключатель С/С/СЧ в положение СЧ, а переключатель

Д в положение П ; набрать на клавиатуре адрес обращения к
ЗУ 1000077, затем нажать кнопки А↑ и ↑↓ (во время высвеч-
ания признака обращения к ППЗУ запрещается нажимать другие кла-
ши). По окончании считывания нажать СХ. Для считывания блока
дресуемых регистров переключатель Д/П стабится на Д и меняется
рес обращения - надо набрать адрес 1016898, все остальные дейст-
я повторяются.

После считывания программы и регистров следует выполнить
нтрольные вычисления по примеру, приведёному ниже. Если вычис-
ния по примеру не совпадают с результатом,приведённым в примере,
едует выполнить повторный ввод $t_{пс}$, $t_{пб}$, P, $\overline{F}$ из примера и
вторить вычисления. При повторной неудаче следует проверить
ог программы и содержимое адресуемых регистров с целью выявле-
я причины сбоя. Если сбой обнаружен - выполнить стирание соо-
етствующей части ППЗУ и снова выполнить запись.

3.3.3. Текст программы

	оператор	код	физическое содержание регистра X
0	ИП5	65	
I	ИП2	62	
2	×	I2	
3	ИП2	62	
4	ИП6	66	
5	+	I0	
6	÷	I3	
7	F e^x	I6	
8	ИП4	64	
9	×	I2	
10	ИПI	6I	
II	ИП[illegible]	[illegible]	
I2	−	II	
I3	ИП8	68	
I4	×	I2	
I5	ИП3	63	
I6	×	I2	
I7	—	II	e – давление водяного пара
I8	ИП0	60	
I9	×	I2	
20	ИП9	69	
2I	ИП3	63	
22	×	I2	
23	−	II	
24	/−/	0L	
25	ИПI	6I	
26	ИП7	67	
27	+	I0	
28	÷	I3	груповой индекс преломления
29	К НОП	54	пустой оператор для замены на С/П
30	ИП Д	6Г	
3I	−	II	
32	ИП С	6[	
33	I	0I	
34	ВП	0[	
35	6	06	
36	/−/	0L	

	оператор	код	физическое содержание регистра Х
37	×	I2	
38	×	I2	$-\delta_{мет}$
39	К НОП	54	пустой оператор для замены на С/П
40	↔	I4	
4I	I	0I	
4[illegible]	ВП	0C	
4[illegible]	[illegible]	0[illegible]	
44	+	I0	
45	[illegible] А	6-	
46	↔	I4	
47	÷	I3	$(N+0.5)^*$
48	К НОП	54	пустой оператор для замены на С/П
49	↔	I4	
50	[illegible] В	6L	
5I	−	II	
52	К НОП	54	пустой оператор для замены на С/П
53	[illegible]	0[illegible]	
54	[illegible] С	6C	
55	+	I0	
56	↔	I4	
57	F ⟳	25	
58	↔	I4	
59	÷	I3	
60	К [X]	34	определение целой части цикла
6I	5	05	
62	ВП	0C	
63	I	0I	
64	/−/	0L	
65	+	I0	N + 0,5
66	К НОП	54	пустой оператор для замены на С/П
67	×	I0	
68	↔	I4	
69	−	II	значение $Д_д$
70	С/П	50	

3.3.4. Контрольный пример

После размещения программы в програмной памяти и заполнения
рабуемых регистров, для обработки одного приёма выполняют сле-
дующие действия:

дят информацию: $k \to Rg\,B$, $\mathcal{D}^* \to Rg\,C$, $t_{пс} \to Rg\,1$, $t_{пб} \to Rg\,2$, $P \to Rg\,3$, $\bar{F} \to Rg\,X$,
мают клавиши В/О , С/П .

После останова по оператору 7С программы в регистре Х высве-
вается значение $\mathcal{D}_д$.

Исловой пример:

$k = -214.2 \to Rg\,B$

$\mathcal{D}^* = 9\ 528\ 280 \to Rg\,C$

$t_{пс} = 9.1 \to Rg\,1$

$t_{пб} = 5.4 \to Rg\,2$

$P = 740.3 \to Rg\,3$

$\bar{F} = 2870 \to Rg\,X$

$\mathcal{D}_д = 9\ 528\ 286.2$

Время счёта 21 с.

4. Контроль метрологических характеристик дальномера и метеоприборов

4.1. Наиболее важными метрологическими характеристиками дальномера, нестабильность которых, как правило, не сразу удается обнаружить в полевых условиях, являются выходное значение масштабной частоты f и приборная поправка k пары дальномер-отражатель.

Как показала эксплуатация макета СВГ стабильность масштабной частоты выдерживается в течение всего полевого сезона с погрешностью $(1 \div 3)\cdot 10^{-7}$. Однако неожиданности не исключены, поэтому следует при возвращении на базу партии выполнить в течение сезона 3 – 5 проверки значения f как в канале разрешения неоднозначности, так и в канале уточнения расстояния. Контроль частоты во всем рабочем диапазоне должен выполнить персонал, знающий устройство [illegible] и частотомера, а также с правилами по технике безопасности; средства [illegible] и требования к стабильности частот приведены в ТО разд. II.

Определение приборной поправки k в канале уточнения расстояния выполнить, измеряя по "Методике измерений дальномером СВГ" три контрольные линии $\sim 0{,}5$ км, $\sim 0{,}8$ км, $\sim 1{,}5$ км (но не более 2 км) не менее, чем четырьмя программами каждую, и не менее, чем в две видимости каждую. Ср. кв. погрешность контрольных линий должна быть не более $0{,}7\cdot 10^{-6}\cdot Д$ км. Значение приборной поправки из каждой программы вычислить по формуле

$$k = Д - \bar{Д}_д,$$

где $Д$ – образцовое значение длины контрольной линии;

$\bar{Д}_д$ – полученное при помощи СВГ среднее для программы значение длины контрольной линии.

Ср. кв. погрешность определения приборной поправки найти по формуле

$$M_k = \sqrt{\frac{\sum_{1}^{n}(k-\bar{k})^2}{n(n-1)} + 0{,}16\ мм^2} \qquad (4)$$

n – общее число выполненных программ,

0,16 – влияние погрешностей трех исходных базисов, $\bar{k}$ – среднее значение поправки из всех программ; k – значения поправок из отдельных программ. Если M_k окажется более 0,6 мм, то следует провести дополнительные измерения. За окончательное значение приборной поправки k берется среднее значение из всех выполненных программ.

Определение приборной поправки K в канале разрешения неоднозначности выполнить измеряя две контрольные линии в диапазоне от 0,5 км до 2,2 км. На каждой линии должно быть выполнено по 6 программ (одна программа в режиме разрешения неоднозначности состоит из 10 отсчетов на частоте f_1, запись и вычисления см. ТО и ИР). Обработку результатов определения K выполнить по тем же формулам, что и при определении k.

4.5. В общем случае для определения длин, измеряемых ОДГ, следует пользоваться значениями k и K, определяемыми указанными выше способами. В полевых условиях можно вести контроль за состоянством этих поправок, если измерять, например, на базисах второго разряда отрезок до 2000 м во всех комбинациях, используя линии длиной около 500 м. Использовать результаты измерений отрезков более 2000 м для вычисления k из всех комбинаций не рекомендуется, т.к. в таких случаях увеличивается влияние ошибок дальномера, связанных с длиной линии. На базисах 2-го разряда все комбинации измерений орезка 0 – 1488 выглядят следующим образом: 0 – 480, 0 – 984, 0 – 1488, 480 – 984, 480 – 1488, 984 – 1488. Ниже приведен способ составления и вид нормальных уравнений при обработке измерений такого трехсекционного базиса.

На трехсекционном базисе все возможные комбинации измеренных отрезков S между точками 1, 2, 3, 4 составляют следующее множество:

$$S_{12},\ S_{13},\ S_{14},\ S_{23},\ S_{24},\ S_{34}. \qquad (5)$$

Обозначим x_{12}, x_{23}, x_{34} искомые значения измеренных расстояний между пунктами 1–2, 2–3, 3–4. К каждому из измеренных значений ряда (5) должна быть прибавлена приборная поправка k и тогда для каждого из расстояний $S_{nm} - k$ можно записать условное уравнение вида

$$C_1 x_{12} + C_2 x_{23} + C_3 x_{34} = S_{nm} + k \qquad (6)$$

где коэффициент C равен 1, если соответствующий отрезок x охвачен расстоянием S_{nm}, и $C = 0$, если соответствующий отрезок x не входит в S_{nm}.

Обозначим

$$x_{12} = x_{12}^* + \delta_1; \quad x_{23} = x_{23}^* + \delta_2; \quad x_{34} = x_{34}^* + \delta_3;$$

где звездочкой отмечены приближенные значения искомых, а буквой δ – поправки, которые найдем из уравнивания. Подставляя принятые обозначения в условное уравнение (6), получим систему уравнений, в которой неизвестные перенесены в левую часть уравнений:

$$\begin{aligned}
\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 - k &= S_{14} - x_{12}^* - x_{23}^* - x_{34}^* \\
\delta_1 + \delta_2 \quad - k &= S_{13} - x_{12}^* - x_{23}^* \\
\delta_2 + \delta_3 - k &= S_{24} \quad - x_{23}^* - x_{34}^* \\
\delta_1 \quad - k &= S_{12} - x_{12}^* \\
\delta_2 \quad - k &= S_{23} \quad - x_{23}^* \\
\delta_3 - k &= S_{34} \quad - x_{34}^*
\end{aligned} \qquad (7)$$

Если в качестве приближенных значений для каждого x^* в этой системе уравнений возьмем соответствующее измеренное значение S, (т.е. примем $x_{12}^* = S_{12}$, $x_{23}^* = S_{23}$ и т.д.)

то в правой части последних трех уравнений получим нули. Если же принять обозначения

$$l_1 = s_{14} - s_{12} - s_{23} - s_{34};\quad l_2 = s_{13} - s_{12} - s_{23};$$
$$l_3 = s_{24} - s_{23} - s_{34};\quad l_4 = 0;\quad l_5 = 0;\quad l_6 = 0;$$

то система нормальных уравнений для вычисления поправок в центры трехцентрового базиса приобретает вид

$$\begin{aligned} 3\delta_1 + 2\delta_2 + \delta_3 - 3k &= [al] \\ 2\delta_1 + 4\delta_2 + 2\delta_3 - 4k &= [bl] \\ \delta_1 + 2\delta_2 + 3\delta_3 - 3k &= [cl] \\ -3\delta_1 - 4\delta_2 - 3\delta_3 + 6k &= [dl] \end{aligned} \qquad (8)$$

Если раскрыть содержание правых частей, то получим:

$$\begin{aligned} 3\delta_1 + 2\delta_2 + \delta_3 - 3k &= l_1 + l_2 \\ 2\delta_1 + 4\delta_2 + 2\delta_3 - 4k &= l_1 + l_2 + l_3 \\ \delta_1 + 2\delta_2 + 3\delta_3 - 3k &= l_1 + l_3 \\ -3\delta_1 - 4\delta_2 - 3\delta_3 + 6k &= -l_1 - l_2 - l_3 \end{aligned} \qquad (9)$$

Таким образом от базиса к базису меняется только правая часть нормальных уравнений (9). Например, для ряда измерений

$$\begin{aligned} s_{12} &= 480.3803 & s_{13} &= 984.3435 \\ s_{23} &= 504.2643 & s_{14} &= 1488.3686 \\ s_{34} &= 504.3740 & s_{24} &= 1008.2881 \end{aligned} \qquad (10)$$

получаем значения

$$\begin{aligned} [al] &= -0.7511 \\ [bl] &= -1.0013 \\ [cl] &= -0.7502 \\ [dl] &= \ \ 1.0013 \end{aligned}$$

Оценку точности полученных результатов см. Приложение № 3

Решение системы из четырех уравнений удобно проводить на микрокалькуляторах типа Б3-34 (МК-52, МК-54, МК-56, МК-61; МК-52 позволяет хранить записанную программу несколько месяцев). В Приложении 2 приводится текст (исправленный сравнительно с оригиналом в "Геодезия и картография" №6, 1986) программы, написанной Цупелем О.А.

Значение δ, вычисленное из измерений во всех комбинациях будет иметь меньшую точность, чем полученное из прямых измерений на образцовом базисе, поэтому оно может служить только для выявления заметного изменения приборной поправки. [1]

4.3. Аттестация барометров-анероидов должна выполняться не реже 1 раза в 4 года, а определение добавочной поправки должно выполняться методом сличения со ртутным барометром метеостанции. Одновременно со сличением барометра, сличением термометра следует контролировать нуль термометров психрометра. После введения паспортных поправок метеоприборы, входящие в комплект ОПП обеспечивают ср.кв. погрешности измерения: температуры не более 0,2 °, давления – 0,6 мм рт.ст., абсолютного значения влажности – от 0,25 до 0,04 мм рт.ст.

---

[1] Наибольшая опасность заключается в том, что при небольшом ряде из шести измерений δ могут возобладать случайные отклонения с одним знаком и тогда значение δ будет отягощено систематической погрешностью не поддающейся распознаванию.

5. Состав бригады измерителей

Руководитель бригады – ведущий инженер – руководит всем процессом измерений, ведет наблюдения.

Помощник руководителя бригады – инженер I-ой категории – заменяет руководителя в организационных вопросах измерений, в процессе измерений ведет запись в журнале дальномерных измерений, обрабатывает результаты измерений.

Два техника I-ой категории ведут метеорологические наблюдения на конечных точках линии, записи в метеожурналах, выполняют калибровку датчиков температуры, выполняют вычисления в журнале.

Техник II-ой категории помогает при установке вех, калибровке датчиков температуры, поддерживает радиосвязь.

Приложение I

Пример вычисления $\mathcal{D}_{\text{д}}$ вручную

I. Исходные данные

Коэффициенты: $A = 662 \cdot 10^{-6}$ $^{\circ}C^{-1}$; $\alpha = 17.50$; $\beta = 241.2$ $^{\circ}C$;

Измеренные значения: $k = -214.2$ мм; $\mathcal{D}^* = 9\,528\,280$ мм; $t = 9.1$ $^{\circ}C$

$t' = 5.4$ $^{\circ}C$; $P = 740.3$ мм рт.ст.; $\bar{F} = 2970$ Гц.

2. Ведомость вычислений (при вычислениях соблюдать число знаков, указанное в примере).

искомое выражение	значение по контрольному примеру	
$\alpha \times t'$	94,5	вычисление влажности воздуха
$\beta + t'$	246,6	
$\alpha t / (\beta + t')$	0,3832	
$\exp \frac{\alpha t'}{\beta + t'}$	1,46	
$4.584 \exp \frac{\alpha t'}{\beta + t'}$	6,724	
$A \times P$	0,4900	
$t - t'$	3,7	
$AP(t - t')$	1,813	
e	4,91 мм рт.ст.	
$107.87 P$	79856	вычисление поправки за метео-условия
$15.65\, e$	76,86	
$t + 273.16$	282,26	
$N_{мет}$	282,64	
$\delta_{мет}$ 1)	166,41 мм	
$f = 1 \cdot 10^7 + \bar{F}$	10002970	вычисление расстояния, приведенного к начальным метеоусловиям
$\frac{\lambda_0}{2} = \frac{249\,752\,09 \cdot 10^2}{f}$	249,67793	
$(N + 0,5)^* = \frac{\mathcal{D}^* - \delta_{мет} - k}{\lambda_0/2}$	38162,475	
$N + 0.5$	38162,5	
$\mathcal{D}_0 = (N + 0,5)\, \lambda_0/2$	9528084,0 мм	
$\mathcal{D}_{\text{д}} = \mathcal{D}_0 + \delta_{мет} + k$	9528286,2 мм	расстояние, измеренное дальномером

1) $\delta_{мет}$ можно определять по "Таблицам вычисления метеорологической поправки для светодальномера "Гранат", [illegible]

Приложение 2

Программа обращения матрицы с одновременным решением системы из четырех уравнений на микрокалькуляторе типа "Электроника" [illegible]

№ п/п	оператор	код	№ п/п	оператор	код	№ п/п	оператор	код
00	ПП	53	30	ИП9	69	60	X	12
01	04	04	31	X	12	61	П8	48
02	ИПА	6-	32	+	10	62	ИП2	62
03	С/П	50	33	П4	44	63	X	12
04	ПП	53	34	ИПД	6Г	64	+	10
05	06	06	35	ИПВ	6L	65	ИП5	65
06	пп	53	36	ИПА	6-	66	ИП1	61
07	08	08	37	ИП9	69	67	ИП9	69
08	ИП7	67	38	X	12	68	X	12
09	ИП9	69	39	ПД	4Г	69	П3	43
10	ИП3	63	40	ИП1	61	70	ИП2	62
11	Fx^2	22	41	X	12	71	X	12
12	ИП0	60	42	-	10	72	+	10
13	/-/	0L	43	ПА	4-	73	ПА	4-
14	F 1/x	23	44	x↔y	14	74	x↔y	14
15	П0	40	45	ИП0	60	75	П5	45
16	X	12	46	ИП1	6Г	76	ИП0	62
17	-	10	47	ИП2	62	[illegible]	ИП0	60
18	П	47	48	X	12	78	X	12
19	x↔y	14	49	+	10	79	ИП6	66
20	ИП4	64	50	ПВ	4L	80	ИП3	63
21	ИП1	61	51	x↔y	14	81	ИП9	69
22	Fx^2	22	52	ИПД	6Г	82	÷	13
23	ИП9	69	53	ИП3	63	83	ИП8	68
24	X	12	54	X	12	84	X	12
25	+	10	55	+	10	85	+	10
26	П0	40	56	П0	40	86	П0	40
27	x↔y	14	57	ИП8	68	87	x↔y	14
28	ИП2	62	58	ИП3	63	88	П8	48
29	Fx^2	22	59	ИП9	69	89	В/О	52

Приложение 2
(продолжение)

Исходные данные размещаются в следующих регистрах:

$[aa] \to$ P0, $[ab] \to$ P1, $[ac] \to$ P2, $[ad] \to$ P3,
$[bb] \to$ P4, $[bc] \to$ P5, $[bd] \to$ P6, $[cc] \to$ P7,
$[cd] \to$ P8, $[dd] \to$ P9, $[al] \to$ PA, $[bl] \to$ PB,
$[cl] \to$ PC, $[dl] \to$ PД,

Пуск программы осуществляется нажатием клавиш В/О и С/П. Через 90 – 100 с на идикаторе высветится значение x_1, а результаты вчислений будут занесены в соответствующие регистры ($x_1 \to$ PA; $x_2 \to$ PB; $x_3 \to$ PC; $x_4 \to$ PД; $-Q_{11} \to$ P0 $-Q_{12} \to$ P1; $-Q_{13} \to$ P2; $-Q_{14} \to$ P3; $-Q_{22} \to$ P4; $-Q_{23} \to$ P5; $-Q_{24} \to$ P6; $-Q_{33} \to$ P7; $-Q_{34} \to$ P8; $-Q_{44} \to$ P

При решении по программе системы

$$\begin{bmatrix} 7,577 & 1,243 & -0,014 & 0,227 \\ 1,243 & 3,930 & 0,027 & -3,344 \\ -0,014 & 0,227 & 5,010 & -0,544 \\ 0,227 & -3,344 & -2,544 & 5,191 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 13.683 \\ 2,845 \\ -12,593 \\ 7,840 \end{bmatrix}$$

Получим неизвестные

$x_1 = +1,0401$; $x_2 = +0.3100$; $x_3 = -2,0000$; $x_4 = +0,0000$

и обратную матрицу (в регистрах они записаны с обратными знаками)

0,1470	-0,0775	-0,0356	-0,0783
-0,0775	0,4067	0,1690	0,3717
-0,0356	0,1690	0,3337	0,2837
-0,0783	0,3717	0,2837	0,5960

Журнал "Геодезия и картография" 16,1986 (с исправлением печатки в операторах программы 82 и 86).

Приложение 3

Оценка точности результатов измерений во всех комбинациях

Обратная матрица систем (8) и (9) имеет вид

$$Q = \begin{bmatrix} 0.750 & 0 & 0.250 & 0.500 \\ & 0.750 & 0 & 0.500 \\ & & 0.750 & 0.500 \\ & & & 1.000 \end{bmatrix} \qquad (3.1$$

А результаты подстановки исходных данных (10) в эти уравнения дали следующие значения неизвестных:

$\delta_1 = -0,2502$; $\delta_2 = -0,2503$; $\delta_3 = -0,2498$; $k = -0,25$

Подставляя значения δ_1, δ_2, δ_3, k в (9) и, вычитая из правой части уравнения левую, получим значения невязок

$v_1 = 0,0000$; $v_2 = -0,0000$; $v_3 = -0,0001$; $v_4 = 0,0002$;

$v_5 = 0,0003$; $v_6 = -0,0002$.

и затем ср.кв. погрешность непосредственного измерения

$$m = \sqrt{\frac{\Sigma v^2}{n-4}} = \sqrt{\frac{91 \cdot 10^{-8}}{2}} = 0,7 \cdot 10^{-4} \text{ м} = 0,07 \text{ мм}$$

Ср. кв погрешность уравненных значений x_{12}, x_{23}, x_{34}

$$m_x = m\sqrt{0,75} \qquad (3.2)$$

Ср.кв. погрешность суммы двух уравненных значений (разности) находится по формуле

$$m_\Sigma = m\left(Q_{11} + Q_{22} + 2Q_{12}\right)^{1/2} \qquad (3.3)$$

Для суммы трех уравненных значений

$$m_\Sigma = m\left(Q_{11} + Q_{22} + Q_{33} + 2Q_{12} + 2Q_{13} + 2Q_{23}\right)^{1/2}$$

Ср.кв. погрешность k из уравнивания

$$m_k = m\sqrt{Q_{44}} = m$$

(см. примечание на стр. 28)

gost.e-ecolog.ru