

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

УТВЕРЖДАЮ

Зам. директора ЦНИИГАИК

М.Герасименко М.Г.Герасименко

12.05 1991 г

МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЯ СВЕТОДАЛЬНОМЕРОМ ВЫСОКОТОЧНЫМ ГЕОДЕЗИЧЕСКИМ
(СВГ)

ММ БГЕМ II-91

МВИ аттестована ЦНИИГАИК

Зав. ОСМОГИ

Смирнов А.И.Смирнов

Исполнители

Сиротин А.С.Сиротин
Бека-13 2.В.Бека-13
Минченко А.Н.Минченко

1991

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, расположенных 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 °C;
- потребляемая мощность ~ 70 Вт;
- дальномер является нестандартизированным 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 $\lambda_{изл.} = 0.6328 \text{ мкм}$; в качестве индикатора амплитуды импульса применяется осциллограф С1-1С1; в качестве измерителя частоты – счетчик частоты.

Подставки пр иемо-передатчика и отражателя аналогичны и позволяют выполнять плавное¹⁾ наведение прибора и отражателя. В подставки встроены 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 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 6С мм. Оно может быть известно заранее, либо получено с применением канала разрешения неоднозначности дальномера по методике, изложенной в ПЭ 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 D возможно существует не одна, а несколько частот из диапазона 600С - 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

$$\Delta f = \frac{\sigma}{2D_{km}} = \frac{3 \cdot 10^2}{2D_{km}} \text{ кГц}$$

где σ - скорость света. Используя это выражение, можно найти n - "минимумов" для измеряемого расстояния в диапазоне 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 \sqrt{N} на 1 и число "минимумов для диапазона 600,0 - 600,30 МГц

параметры	расстояния (км)						
	0,5	1,0	2,0	3,0	5,0	8,0	10,0
Δf кГц	300	150	75	50	30	10,8	15
$\frac{\Delta f}{60}$ кГц	5,0	2,5	1,25	0,83	0,50	0,31	0,25
n	1	2	4	6	10	16	25

Для тех случаев, когда $n > 2$ измерения при помощи СВГ рекомендуется проводить на двух частотах, близких к середине диапазона масштабного частоты. Так как на восьмиразрядном табло СВГ высвечивается F - значение масштабной частоты, деленное на 60 (т.е. $F = \frac{f}{60}$), то среднему значению $f = 600\ 150$ кГц соответствует значение на табло, равное 10 003 000 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, РЕГУЛИРОВКА 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 осциллографа: ширина импульса устанавливается равной приблизительно ширине одной клетки при помощи ручки "время/деление", а ручкой " $V/\text{деление}$ " должна находиться в положении 0,2; ручкой "настройка СВЧ" 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 ОЛТ вниз.

УСТАНОВКА ВРЕМЕННОГО ИНТЕРВАЛА между импульсами выполняется после вычисления из выражения

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

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 $t_{\text{имп}}$, 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. Изменяя частоту, найти максимальную амплитуду сигнала на экране осциллографа; уточнить амплитуду и форму сигнала и расстояние между импульсами \square УСТАНОВКИ ВРЕМЕННОГО ИНТЕРВАЛА.

5. Отношение максимальной амплитуды сигнала к амплитуде "блока"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/блок более $3 \div 4$).

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⁾ "Блок" - сигнал, обусловленный отраженным в оптическом канале приемо-передатчиком.

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 восьмизначного 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 восьмизначного 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 изведение 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, установленных 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 "I" для каждого приема вычисляется текущее значение вертикального градиента температуры по формуле

$$\gamma = \frac{t_{\text{дн}}^* - t_{\text{вн}}^* + \Delta_K}{h_{\text{нв}}}$$

где $h_{\text{нв}}$ – расстояние между верхним и нижним датчиками; $t_{\text{дн}}^*$ и $t_{\text{вн}}^*$,

КАЛИБРОВКА ДАТЧИКОВ ТЕМПЕРАТУРЫ

Пункт Бел. Расп. дата 29.08.90 Исполнители Ташевский, 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	$\bar{E}_{\text{пс}} = 10$
	верхн. датчик	12.2	12.4	12.1	12.3	12.3	12.3	$\bar{E}_{\text{ДС}} = 12$
	нижн. датчик	9.8	9.3	9.8	9.7	9.7	9.6	$\bar{E}_{\text{ДН}} = 9$
18/10	сухой терм.	7.3	7.3	7.4	7.3	7.3	7.3	$\bar{E}_{\text{пс}} = 7$
	верхний датчик	9.3	9.2	9.1	9.3	9.3	9.3	$\bar{E}_{\text{ДС}} = 9$
	нижний датчик	7.0	6.9	6.7	6.9	6.9	6.7	$\bar{E}_{\text{ДН}} = 6$

Поправки в отсчеты по датчикам: $\Delta t_g = \bar{t}_{nc} - \bar{t}_{dg}$; $\Delta t_h = \bar{t}_{nc} - \bar{t}_{dh}$

Исправленные за калибровку показания датчиков вычислять по

Формулам: $t_{\Delta e}^* = t_{\Delta e}^* + \Delta t_e$; $t_{\Delta H} = t_{\Delta H}^* + \Delta t_H$.

Поправка Δ_k в разность $\frac{f_{\text{вн}}}{A_{\text{вн}}} - \frac{f^*}{A_{\text{вн}}}$ за калибровку датчиков для учета ее при вычислениях вертикального градиента: $A_{\text{вн}} = \frac{f_{\text{вн}}}{\Delta_k} - \frac{f^*}{\Delta_k}$

учета ее при вычислениях вертикального градиента. $\Delta_k - \Delta_{dh}^{k+1}$. Если абсолютное значение $|\Delta_k^k - \Delta_k^{k+1}|$ разности начального Δ_k^k и конечного Δ_k^{k+1} значений Δ_k превосходит $0,7^\circ\text{C}$, то для вычисления вертикального градиента выполнить интерполирование на время измерения градиента.

МЕТЕОДАННЫЕ

Пункт Бер. Рост Дата 29.08.90, Погода ясно, безветрие
 Исполнители Ташевък, Морозов Датчики: верхн. № 006 нижн. № 00
 Барометр № 2611 $\Delta_K^H = -2.6$; $\Delta_K^K = -2.4$; $\Delta_K = -2.5$;
 Психрометр № 1320. $\Delta t_{nc} = +0.2$; $\Delta t_{nb} = 0.0$; $h = 8.0$

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

При отсутствии постоянной радиосвязи между конечными пунктами метеоданные у отражателя регистрируют с интервалом 10 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 $X = \sim 100$ м на отражателе. При расстояниях менее 2 км такая диафрагма обязательна. Допустимый угол наклона дальномерного луча к горизонту не должен превышать 2° , 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{D} - среднее значение из всех, полученных в приемах значений D_D , и найти ср.кв.погрешность измерения одним приемом

$$m_D = \sqrt{\frac{\sum (D_D - \bar{D})^2}{n - 1}} \quad (1)$$

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

$$M_n = \sqrt{\frac{m_D^2}{n} + M_K^2} \quad (2)$$

где M_K - ср.кв. погр. определения k из свидетельства СБУ аттестации. Ср.кв.погрешность измеряемой линии вычислить по формуле

$$M_{\bar{d}} = \sqrt{\frac{\sum (d_i - \bar{d})^2}{n(n-1)} + M_k^2} \quad (3)$$

где n - число приемов измерений, принятых в обработку по данной линии; \bar{d} - среднее значение длины линии, вычисленное из всех значений d_i , принятых в обработку по данной линии.

2.2.4. Особенности измерения линий до 1 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 пилоносов, 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 эксцентризитета 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 см, для чего на корпусах приборов должны быть нанесены следы горизонтальных осей. Ориентирование 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 $-0,06 \pm 0,15$ $^{\circ}\text{C}/\text{м}$ и при этом флуктуация 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 превышающим по абсолютной величине $0,06$ $^{\circ}\text{C}/\text{м}$. Для контроля за наступлением этого периода используются на обоих концах измеряемой линии мачты высотой 15 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 СБГ). Если по результатам заключительной калибровки датчиков окажется, что во время измерений вертикальный градиент температуры на одном из концов базиса превышает $0,06$ $^{\circ}\text{C}$, то дальнейшие измерения

следует повторить.

Минимальная допустимая высота луча в промежутках между конечными точками измеряемого расстояния не должна быть менее $\sim 1...$ а также минимально допустимая средняя по всему лучу высота - не более 20 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 \sim значения.

Таблица 3

предельные значения \bar{d} (км)	ср.кв. погрешность (гм) одного приема
1	1,5
2	2,5
5	3,0
7	3,6
10	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, 1188 м, 2016 м, 3024 м. Для интервалов, превышающих 0,5 км рекомендуется выполнить дальномером СВГ прямые измерения каждого из них не менее, чем четырьмя программами, не менее, чем в две видимости. Измеренные значения следует считать среднее \bar{d} из всех приемов измерений, умноженное на эту 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 СС1 (см. РТи 66-8.15-86) или получать короткое расстояние как разность D_2 прямых измерений расстояний L_1 и L_2 , оба из которых должны быть не менее 500 м. Ср. кв. погрешность Δ_{LR} , полученных таким образом расстояний, находится из выражения

$$\Delta_{LR} = \sqrt{\Delta_{L1}^2 + \Delta_{L2}^2},$$

где Δ_{L1} и Δ_{L2} - 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 2-го разряда можно допустить угол наклона дальномерного луча не более 2° по абсолютной величине на каждом измеряемом отрезке.

Более подробные сведения о применении СВГ на базисах 2-го разряда должны быть приведены в соответствующем РТи.

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. Старт журнала рассчитана на ручную обработку результатов измерений; при использовании автоматизированных способов вычислений поле "Определение числа полуволн + 0,5" и поле "Вычисление Δ_d " не будут заполняться.

Приняты следующие обозначения:

t_{4n} , t_{4e} - значения температуры воздуха, соответственно, по нижнему и верхнему датчикам, установленным на мачте, после введения поправок Δt_n , Δt_e за калибровку;

t_{ps} , t_{pe} - значения температуры, соответственно, по сухому и влажному термометрам психрометра, после введения поправок Δt_{ps} и Δt_{pe} в показания термометров;

P - значение давления после введения поправок в показания анероида;

δ_p - поправка в расстояние за температуру и давление;

δ_e - поправка в расстояние за влажность;

D_0 - значение расстояния, вычисленное для начальных условий $t = 0^{\circ}\text{C}$, $P = 760 \text{ мм рт.ст.}$; $e = ?$ -

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

Δ_y - поправка за наклон оптического канала дальномера (ПД) к горизонту;

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

$\lambda_{9/2}$ - длина полуволны масштабной частоты для начальных условий $t = 0^{\circ}\text{C}$, $P = 760 \text{ мм рт.ст.}$; $e = ?$

D_1 - значение расстояния, вычисленное по показаниям дальномера с учетом метеоданных и приборной поправки;

$\Pi, 0$ - обозначение конечных точек измеряемого расстояния, в которых размещены, соответственно, прибор и отражатель;

i, J - высоты прибора и отражателя над конечными точками.

Символы, дополненные сверху чертой, обозначают среднее значение соответствующей величины. Предварительная обработка метеорологических измерений заключается в вычислении метеопараметров введение соответствующих поправок к отсчетам по приборам, занесенных этим параметров в журнальные расстояния, в поле "Вычисление Δ_d " зано-

Измеряет Марек Пункт расходка №4

Записывает Грекин Линия Бел. Расс

гочка	время	$t_{\text{пс}}$	$t_{\text{раб}}$	P	γ
II	17/00	9.3	5.6	740.5	-0.03
0	17/00	9.1	5.4	740.3	-0.05

$$l = 0.42 \text{ m} \quad 16.$$

Дата 29.03.90

Отсчеты F , прием № 1

серия 1	серия 2	серия 3
2953	2985	2970
50	90	55
70	91	72
61	73	56
56	68	62
		2983
		64
		84
		62
		57
		78
		54

D* 9528 280

Вычисление D_4

Z_{nc}	9.1
$E_{n\delta}$	5.4
\bar{P}	740.3
δ_{tp}	163.7
δ_e	2.8
k	- 214.2

Определение числа полуволн + 0,5

\bar{F}	$f = 1.167 \pm \bar{F}$	$\lambda_{0/2}$	$B^* - S_{M^2} - k$	$N+0.5$
2970	10002 970	249.677 93	9528 327.7	38162.5

D_0	9528 334.0
D_A	9528 286.3

точка	время	$t_{\text{пс}}$	$t_{\text{пв}}$	P	γ
П	17/05	9.1	5.4	740.3	-0.05
0		8.9	5.2	740.1	-0.03

Отсчеты F , прием № 2

Вычисление D_4

<u>Tno</u>
<u>Enl</u>
<u>P</u>
<u>Stp</u>
<u>8e</u>
<u>k</u>
<u>Do</u>
<u>D_A</u>

оценка	время	t_{nc}	t_{ne}	P	γ
II					
0					

$$t_{n\epsilon} = t_{n\epsilon}^* + \Delta t_{n\epsilon}; \quad t_{n\beta} = t_{n\beta}^* + \Delta t_{n\beta}; \quad P = P^* + \Delta M + \Delta t + \Delta \text{dos}$$

$\gamma = \frac{t_{\text{ан}}^* - t_{\text{ан}} + \Delta_k}{h_{\text{ан}}} ;$ исходные данные для вычисления $t_{\text{ан}}, t_{\text{ан}}^*,$
 P, γ см. Метеоежурнал № , №

$$D = \frac{\lambda^c}{2} (N + c, S) + E + \{ \dots + h + \sum_{d=1}^n \}$$

$$\begin{aligned}\frac{\lambda}{\lambda} &= \frac{c}{c+n_0} = \frac{299792 \cdot 46 \cdot 10^4}{2 \cdot 3200 \cdot 10^6 \cdot 1,00030011} = \frac{299792,46}{2 \cdot 3200 \cdot 1,00030011} = \\ &= \frac{299792,46}{6400 (1+0,00030011)} = \frac{299792,46}{6401,420704} = 46,55 \approx 47\end{aligned}$$

состоит среднее из четырех значений t_{nc} , t_{ne} , P в точках $n, 0$ до и после приема измерений.

Ниже приводится алгоритм и программа вычисления D_A .

3.2. Алгоритм

$$D_A = D_0 + \delta_{met} + k + d,$$

$$3.2.1. D_0 = (N + 0,5) \frac{\lambda_0}{2}$$

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

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

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

$\frac{\lambda_0}{2}$ - длина полуволны масштабной частоты, вычисленная для условий $t = 0^\circ\text{C}$, $P = 760 \text{ мм рт.ст.}$ $e = e_0$

$$\frac{\lambda_0}{2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\nu_0}{60f} = \frac{1}{2} \cdot \frac{c}{1+N_0} \cdot \frac{1}{60f} = \frac{c}{120(1+N_0)} \cdot \frac{1}{f} = \frac{24975209 \cdot 10^2}{c} \text{ м,}$$

где: $c = 299792,46 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ - скорость света в вакууме,

$$N_0 = 300,11 - \text{групповой индекс преломления для } t = 0^\circ\text{C},$$

$$P = 760 \text{ мм рт.ст.}, e$$

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

(F - средний для данного приема отчет по табло),

I - коэффициент умножения, реализуемый в дальномере для получения масштабной частоты.

$$3.2.2. \delta_{met} = (N_{met} - N_0) R^* \cdot 10^{-6}$$

R^* - грубое значение измеряемого расстояния, выраженное в м, получаемое из предварительных измерений с ошибкой не более 60 см,

N_{met} - см. п.3.2.1.

N_{met} - групповой индекс преломления, вычисленный для условий измерения, см. "Справочник геодезиста" под ред. В.Д.Вольшакова).

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

где: P - давление в см рт.ст.;

t - температура воздуха в $^\circ\text{C}$;

e - абсолютное значение влажности в см рт.ст.

Значение e находится из выражения (ГОСТ 8.524-85)

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

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

где: t_{ne} — температура влажного термометра в $^{\circ}\text{C}$; t_{nc} — температура сухого термометра в $^{\circ}\text{C}$; P — давление в ми.рт.ст.; $A = 662 \cdot 10^{-6} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ — психрометрический коэффициент для аспирационного психрометра типов IB-4 и М-34; $\alpha = 27,50$; $\beta = 24,25, \sim 0^{\circ}\text{C}$ (для воды).

С.В.С. f — приблизенная поправка, получаемая для этого из таблицы φ_f — обратимое изменение ст.п. поправки поправки несколько обратимое, соответственно, приблизенная поправка в какой-либо степени будет свое, что должно быть учтено при обработке измерений. Обработка об отдельении f см. раздел 2.

3.3. Реализация алгоритма на микрокалькуляторе

"Электроника" МК 52¹⁾)

3.3.1. Инструкция для пользователя

Ввод информации в адресуемые регистры выполняют по следующей таблице

1) Пример вычисления — вручную см. Приложение 1.

параметр	ζ_{nc}	ζ_{nb}	P	4.584	17.50	241.2	273.16	$662 \cdot 10^5$
регистр	I	2	3	4	5	6	7	8

параметр	107.87	15.65	$24975209 \cdot 10^2$	k	D_{mm}^*	500.11
регистр	с	с	д	с	с	с

значение D^* в миллиметрах вводят повторно при переходе от линии; значения k вводят повторно при замене отражателя. В листры I, 2, 3 информация вводится для каждого приёма. Информация в других адресуемых регистрах сохраняется постоянной. При работе одного приёма по программе (перед пуском её) в регистре следует занести значение F - среднее значение частоты, полученное в данном приёме по показаниям цифрового табло. Таким образом, если в регистре с 4 по 7 уже вся информация занесена, для начала счёта очередного приёма измерения необходимо ввести: с в рег. I, ζ_n - в рег. 2, P - в рег. 3, F - в рег. 4; после этого нажать В/О, С/П и программа начнёт счёт.

3.3.2. Считывание программы из ППЗУ МК 52 и её перезапись

В соответствии с паспортом программа или содержание адресуемых регистров, записанные в ППЗУ могут храниться там до 208 дней, если питание отключено, и не менее 10 дней, если к ППЗУ осуществляется обращение. При выключении и выключении МК 52 переключатель З/СЧ устанавливают на СЧ.

Программа вычисления D_d записана двумя блоками - блок кста программы, использующий 77 шагов, и блок адресуемых регистров, использующий 80 шагов. Для очистки ядра памятиставить переключатель З/С/СЧ в положение СЧ, а переключатель

; в положение II ; набрать на клавиатуре адрес обращения к яу 1000077, затем нажать кнопки $\Delta\uparrow$ и $\Delta\downarrow$ (во время высвечивания признака обращения к ППЗУ запрещается нажимать другие клавиши). По окончании считывания нажать СХ. Для считывания блока адресуемых регистров переключатель А/П ставится на А и меняется адрес обращения - надо набрать адрес 1016898, все остальные действия повторяются.

После считывания программы и регистров следует выполнить контрольные вычисления по примеру, приведённому ниже. Если вычисления по примеру не совпадают с результатом, приведённым в примере, следует выполнить повторный ввод t_{nc} , t_{ne} , P , F из примера и повторить вычисления. При повторной неудаче следует проверить нет ли программы и содержимое адресуемых регистров с целью выявления причин ошибок. Если ошибок обнаружены - выполнить отключение соответствующей части ППЗУ и снова выполнить заново.

3.3.3. Текст программы

	оператор	код	Физическое содержание регистра X
0	ИП5	65	
1	ИП2	62	
2	\times	12	
3	ИП2	62	
4	ИП6	66	
5	$+$	10	
6	\div	13	
7	F e ^x	16	
8	ИП4	64	
9	\times	12	
10	ИП1	61	
11	ИП1	63	
12	-	11	
13	ИП6	66	
14	\times	12	
15	ИП3	63	
16	\times	12	
17	—	11	e - давление водяного пара
18	ИП0	60	
19	\times	12	
20	ИП9	69	
21	ИП3	63	
22	\times	12	
23	-	11	
24	/-	01	
25	ИП1	61	
26	ИП7	67	
27	+	10	
28	\div	13	групповой индекс преломления
29	К НОП	54	пустой оператор для замены на С/П
30	ИП Д	6Г	
31	-	11	
32	ИП С	6Е	
33	\div	13	
34	ИП	01	
35	6	36	
36	/-	01	

!	оператор	!	код	!	Физическое содержание регистра II
37	!	X	!	12	!
38	!	X	!	12	!
39	!	Л НСЛ	!	54	! - $\delta_{\text{мет}}$
40	!	↔	!	14	!
41	!	I	!	01	!
42	!	II	!	02	!
43	!	~	!	03	!
44	!	+	!	10	!
45	!	Л Л А	!	6-	!
46	!	↔	!	14	!
47	!	÷ -	!	13	! $(N + 0.5)^*$
48	!	Л НСЛ	!	54	! пустой оператор для замены на С/П
49	!	↔	!	14	!
50	!	Л Л Б	!	01L	!
51	!	-	!	11	!
52	!	Л НСЛ	!	54	! пустой оператор для замены на С/П
53	!	- ↑	!	01	!
54	!	— ~	!	00	!
55	!	+	!	10	!
56	!	↔	!	14	!
57	!	F O	!	25	!
58	!	↔	!	14	!
59	!	÷	!	13	!
60	!	К [X]	!	34	! определение целой части цикла
61	!	5	!	05	!
62	!	БН	!	03	!
63	!	—	!	01	!
64	!	/-/	!	01L	!
65	!	+	!	10	! $N + 0.5$
66	!	К НСЛ	!	54	! пустой оператор для замены на С/П
67	!	X	!	12	!
68	!	↔	!	14	!
69	!	-	!	11	! значение D_D
70	!	С/П	!	50	!

3.3.4. Контрольный пример

После размещения программы в программной памяти и заполнения
используемых регистров, для обработки одного приёма выполняют съе-
дущие действия:

Дано информацию: $k \rightarrow RgB$, $D^* \rightarrow RgC$, $t_{nc} \rightarrow Rg1$, $t_{ne} \rightarrow Rg2$, $P \rightarrow Rg3$, $F \rightarrow RgX$,
нажат клавиши В/О, С/Г.

После останова по оператору $\%C$ программы в регистре D_4 высвечи-
вается значение D_4 .

Изложенный пример:

$$k = -214.2 \rightarrow RgB$$

$$D_4 = 9\ 528\ 286.2$$

$$D^* = 9\ 528\ 280 \rightarrow RgC$$

$$t_{nc} = 9.1 \rightarrow Rg1$$

Время счёта 31 с.

$$t_{ne} = 5.4 \rightarrow Rg2$$

$$P = 740.3 \rightarrow Rg3$$

$$F = 2870 \rightarrow RgX$$

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, является выходное значение масштабной частоты f и приборная поправка k линии дальномера-излучатель.

Как показала эксплуатация макета СВИ стабильность масштабной частоты выдерживается в течение всего полевого сезона с погрешностью $(1 \pm 3) \cdot 10^{-7}$. Однако неожиданности не исключены, поэтому следует при возвращении на базу парки выполнить в течение сезона 3-4 проверки значения f как в канале разрешения неоднозначности, так и в канале уточнения расстояния. Контроль частоты во всех рабочих диапазонах должен выполняться переносом, блоком или с использованием частотомера, а также с привязкой по дальности измерений; предельные и требования к стабильности частот приведены в ГОСТ разд. II.

Определение приборной поправки k в канале уточнения расстояния выполнить, измеряя по "Методике измерений дальномером СВИ" три контрольные линии $\sim 0,5$ км, $\sim 0,6$ 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 $0,7 \cdot 10^{-3} \cdot \Delta$ км. Значение приборной поправки из каждой программы вычислить по формуле

$$k = \Delta - \bar{\Delta}_\Delta,$$

где Δ - образцовое значение длины контрольной линии;

$\bar{\Delta}_\Delta$ - полученное при помощи СВИ среднее для программы значение длины контрольной линии.

Ср. кв. погрешность определения приборной поправки не должна превышать

$$M_k = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k_i - \bar{k})^2}{n(n-1)}} + 0,16 \text{ км}^2 \quad (4)$$

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 \bar{k} окажется более 0,3 м, то следует провести дополнительные измерения. За окончательное значение приборной поправки k берется среднее значение из всех выполненных программ.

Определение приборной поправки K в режиме разрезания неоднозначности выполнить измеряя две контрольные линии в диапазоне от 0,5 км до 1,2 км. На каждой линии должно быть выполнено по 6 программ (одна программа в режиме разрезания 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 .

... в общем случае для определения длины измерений 0-1, предлагается использовать значения k и K , определенные в 1.301-й строке способом 1. Порядок записи и сама работа коррекции состоят в том, что поправки, если измерять, например, на базисах первого разряда отрезок до 2000 м во всех комбинациях, используя линии длиной около 500 м. Использовать результаты измерений резеков 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 отрезка 0 - I488 выглядят следующим образом:
 - 480, 0 - 984, 0 - I488, 480 - 984, 480 - I488, 984 - I488.
 Же приведен способ составления и вид нормальных уравнений при работе измерений такого трехсекционного базиса.

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

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

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

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

где коэффициент C равен 1, если соответствующий отрезок α охвачен расстоянием s_{nm} , и $C = 0$, если соответствующий отрезок α 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 и т.д., а буквой δ — погрешки, которые найдем из уравнения. Поставив принятые обозначения в условное уравнение (6), получим систему уравнений, в которой неизвестные перенесены в левую часть уравнений:

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

Если в качестве приближенных значений для каждого α^* 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

$$\ell_1 = \delta_{14} - \delta_{12} - \delta_{23} - \delta_{34}; \quad \ell_2 = \delta_{13} - \delta_{12} - \delta_{23}; \\ \ell_3 = \delta_{24} - \delta_{23} - \delta_{34}; \quad \ell_4 = 0; \quad \ell_5 = 0; \quad \ell_6 = 0;$$

то система нормальных уравнений для вычисления поправок в сечении трехсекционного базиса приобретает вид

$$3\delta_1 + 2\delta_2 + \delta_3 - 3k = [al] \\ 2\delta_1 + 4\delta_2 + 2\delta_3 - 4k = [bl] \\ \delta_1 + 2\delta_2 + 3\delta_3 - 3k = [cl] \\ -3\delta_1 - 4\delta_2 - 3\delta_3 + 6k = [dl] \quad (8)$$

Если раскрыть содержание правых частей, то получим:

$$3\delta_1 + 2\delta_2 + \delta_3 - 3k = \ell_1 + \ell_2 \\ 2\delta_1 + 4\delta_2 + 2\delta_3 - 4k = \ell_1 + \ell_2 + \ell_3 \quad (9) \\ \delta_1 + 2\delta_2 + 3\delta_3 - 3k = \ell_1 + \ell_3 \\ -3\delta_1 - 4\delta_2 - 3\delta_3 + 6k = -\ell_1 - \ell_2 - \ell_3$$

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

$$\begin{array}{ll} \delta_{12} = 480.3503 & \delta_{13} = 984.3435 \\ \delta_{23} = 504.2643 & \delta_{14} = -1488.3686 \\ \delta_{34} = 504.2740 & \delta_{24} = 1008.2281 \end{array} \quad (10)$$

получаем значения

$$[al] = -0.7511 \\ [bl] = -1.0013 \\ [cl] = -0.7502 \\ [dl] = 1.0013$$

Оценку точности полученных результатов см. Приложение № 3

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

Значение k , 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 ежегодно службами со ртутных барометров метеостанций. Одновременно со сличением барометра, сличением термометра следует контролировать нуль термометров психрометра. После введения калорийных поправок метеосредства, входящие в комплект СИ обеспечивают ср.кв. погрешности измерения температуры не более $0,2^{\circ}$ 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, могут возобладать случайные отклонения с одним знаком и тогда значение k будет отягощено систематической погрешностью не поддающейся распознаванию.

5. Состав бригады измерителей

Руководитель бригады - бедч. инженер - руководит всем процессом измерений, ведет наблюдения.

Помощник руководителя бригады - инженер I-ой категории - является помощником 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, запись в метеоежурналах, выполняют калибровку датчиков температуры, выполняют вычисления в журнале.

Техник II-ой категории по образу при усвоение линий, калибрует датчиков температуры, поддерживает радиосвязь.

Приложение I

Пример вычисления \mathcal{D}_A вручную

1. Исходные данные

Коэффициенты: $A = 662 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$; $\alpha = 17.50$; $\beta = 247.2 \text{ } ^\circ\text{C}$;
Измеренные значения: $k = -214.2 \text{ мк}$; $D^* = 9.508 \text{ мк}$; $t = 9.1 \text{ } ^\circ\text{C}$
 $t' = 5.4 \text{ } ^\circ\text{C}$; $P = 740.3 \text{ мм рт.ст.}$; $F = 2970 \text{ Гц}$.

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

Искомое выражение	значение по контрольному примеру
$\alpha \times t'$	94,5
$\beta + t'$	248,6
$\alpha t / (\beta + t')$	0,3882
$\exp \frac{\beta t'}{\beta + t'}$	-
$4.584 \exp \frac{\beta t'}{\beta + t'}$	0,784
$A \times P$	1,2600
$t - t'$	0,7
$AP(t - t')$	1,813
e	4,81 мк рт.ст.
$107.87 P$	79856
$15.65 e$	76,86
$t + 273.16$	262,26
$N_{\text{мет}}$	262,64
$\delta_{\text{мет}}^{(1)}$	166,41 мм
$f = 1 \cdot 10^7 + F$	10002970
$\frac{\lambda_0}{2} = \frac{249.752.09 \cdot 10^2}{f}$	249,67793
$(N+0.5)^* = D^* - \delta_{\text{мет}} - k$	38162,475
$N + 0.5$	38162,5
$D_0 = (N + 0.5) \lambda_{1/2}$	3818004,320

Вычисление величины
погрешности
измерения

Вычисление
поправки за
метео-условия

Вычисление расстояния
до грозы, приведенного к
одинаковым метеоусло-
виям

Вычисление
расстояния,
измеренное
дважды

$\rightarrow \delta_A = D_0 + \delta_{\text{мет}} + k$ 9528253,~11:
Число $\delta_{\text{мет}}$ можно определить по "Таблицам вычисле-
ния метеорологической поправки для светоизделий зер-
кальных", табл. 2,

Приложение 2

Программа обращения матрицы с одновременным решением системы из четырех уравнений на микрокалькуляторе типа "Ленитроника"
БС-04

# п/п	оператор	код	# п/п	оператор	код	# п/п	оператор	код
00	III	53	30	ИЭ	69	60	X	12
01	04	04	31	X	12	61	И6	16
02	ИША	6-	32	+	10	62	ИП2	62
03	C/H	50	33	И4	44	63	X	12
04	III	53	34	ИПД	6Г	64	+	10
05	06	06	35	ИНЕ	6L	65	ИП5	65
06	53	53	36	ИША	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	И4	4Г	69	И3	43
10	ИП3	63	40	ИП1	6Г	70	И2	62
11	Fx ²	22	41	X	12	71	И	12
12	ИПС	60	42	-	10	72	+	10
13	/-/	0L	43	-	4-	73	-	10
14	F Z/Z	~3	44	-	4-	74	-	10
15	ИС	40	45	X → Y	1-	75	X → Y	1-
16	И	12	46	ИС	60	76	И6	16
17	-	10	47	И1	6Г	77	И1	12
18	И	47	48	И12	62	78	И12	63
19	X → Y	11	49	И	12	79	И6	66
20	ИП4	64	50	ИЭ	4L	80	ИП3	65
21	ИП1	61	51	X → Y	14	81	ИП9	69
22	F x ²	22	52	ИПД	6Г	82	÷	13
23	ИП9	69	53	ИП3	63	83	И18	63
24	X	12	54	X	12	84	И	12
25	+	10	55	+	10	85	+	10
26	И0	40	56	И0	40	86	И	12
27	X → Y	1-	57	И6	68	87	X → Y	1-
28	И1	62	58	ИП3	63	88	И6	16
29	F x ²	22	59	ИП6	69	89	И/C	63

Приложение 2
(продолжение)

Помощные данные размещаются в следующих регистрах:

$$\begin{aligned} [aa] &\rightarrow PC, \quad [ab] \rightarrow PI, \quad [ac] \rightarrow P2, \quad [ad] \rightarrow P3, \\ [bb] &\rightarrow P4, \quad [bc] \rightarrow P5, \quad [bd] \rightarrow P6, \quad [cc] \rightarrow P7, \\ [cd] &\rightarrow P8, \quad [dd] \rightarrow P9, \quad [al] \rightarrow PA, \quad [bl] \rightarrow PB, \\ [cl] &\rightarrow PC, \quad [dl] \rightarrow PD, \end{aligned}$$

Пуск программы осуществляется нажатием клавиш В/О и С/П.

Через 90 - 100 с на индикаторе высветится значение x_1 , а результаты вычислений будут занесены в соответствующие регистры ($x_1 \rightarrow PA$;
 $x_2 \rightarrow PB$; $x_3 \rightarrow PC$; $x_4 \rightarrow PD$; $-Q_{12} \rightarrow PI$; $-Q_{13} \rightarrow P2$; $-Q_{14} \rightarrow P3$;
 $-Q_{22} \rightarrow P4$; $-Q_{23} \rightarrow P5$; $-Q_{24} \rightarrow P6$; $-Q_{33} \rightarrow P7$; $-Q_{34} \rightarrow P8$; $-Q_{44} \rightarrow F$)

При решении по программе системы

$$\left[\begin{array}{cccc} 7,577 & 1,243 & -0,314 & 0,227 \\ -1,243 & 0,314 & 0,227 & -0,314 \\ -0,314 & 0,227 & 0,314 & -0,314 \\ 0,227 & -0,314 & -0,314 & 0,227 \end{array} \right] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 13,633 \\ 2,345 \\ -12,593 \\ 7,343 \end{bmatrix}$$

получим неизвестные

$$x_1 = +1,345; \quad x_2 = +0,314; \quad x_3 = -0,314; \quad x_4 = +0,314$$

и обратную матрицу (в регистрах они занесены с обратными знаками):

$$0,1470 \quad -0,0775 \quad -0,0356 \quad -0,0783$$

$$-0,0775 \quad 0,4067 \quad 0,1690 \quad 0,3717$$

$$-0,0356 \quad 0,1690 \quad 0,3337 \quad 0,2837$$

$$-0,0783 \quad 0,3717 \quad 0,2837 \quad 0,5967$$

Журнал "Государственный картографический". № 1963 (с исправлениями теч. № 52 и 66).

Приложение 3

Оценка точности результатов измерений во всех комбинациях

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

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

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

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

Подставляя значения $\delta_1, \delta_2, \delta_3, k$ в (9) и, вычитая из правой части уравнения левую, получим значения невязок

$$\sigma_1 = 0,0003; \quad \sigma_2 = -0,0002; \quad \sigma_3 = -0,0001; \quad \sigma_4 = 0,0002;$$

$$\sigma_5 = 0,0003; \quad \sigma_6 = -0,0002.$$

И затем ср.кв. погрешность непосредственного измерения

$$m = \sqrt{\frac{\sum \sigma^2}{n-4}} = \sqrt{\frac{0.7 \cdot 10^{-8}}{2}} = 0,7 \cdot 10^{-4} \text{ м} = 0,7 \text{ м}$$

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

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

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

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

для суммы трех уравненных значений

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

Ср.кв. погрешность k из уравнивания

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

(см. примечание на стр. 28)