

**Московский государственный университет
геодезии и картографии (МИИГАиК)**

На правах рукописи

Хайдар Абдулракиб Мохамед

**РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА ПОСТРОЕНИЯ СОВРЕМЕННОЙ
ГОСУДАРСТВЕННОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ ЙЕМЕНА**

Специальность 25.00.32 - Геодезия

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Москва – 2009

Работа выполнена на кафедре геодезии Московского государственного университета геодезии и картографии (МИИГАиК)

Научный руководитель: доктор технических наук,
профессор Маркузе Юрий Исидорович

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Матвеев Станислав Ильич
кандидат технических наук,
доцент Калинова Елена Владимировна

Ведущая организация: МАГП

Защита состоится.....2009 года в часов на заседании диссертационного совета Д 212.143.03 при Московском государственном университете геодезии и картографии по адресу: 105064 Москва, Гороховский пер., д. 4, зал заседаний ученого совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского государственного университета геодезии и картографии.

Автореферат разослан 2009г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Климков Ю.М.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

В Йемене в настоящее время не существует государственной геодезической сети, которая охватывала бы всю территорию страны. Построенная в предыдущие годы сеть обеспечивает лишь 40%. Картографирование страны выполняется в мелком масштабе. Существующая сеть ни по точности, ни по строгости математической обработки не отвечает требованиям народнохозяйственных и инженерно-технических нужд.

В Йемене, как и во всех странах, по мере развития народного хозяйства возрастают требования к объемам и качеству топографо-геодезической и картографической продукции. Однако, для многих районов, особенно для побережья, требуются топографические и другие карты средних масштабов от 1:25 000 до 1:10 000 и крупных от 1:5000 до 1:2000. Потребность в картах крупного масштаба с течением времени будет возрастать.

В ближайшей перспективе планируется обновление инфраструктуры дорожных сетей Йемена, развитие гидротехнических сооружений и расширение строительства на всем побережье для развития туризма. Поэтому необходимо создать на всей территории страны современную геодезическую сеть, обеспечивающую решение как научных, так и инженерно-технических задач народнохозяйственного значения, причем не только текущего периода, но и на ближайшие десятилетия. В связи с этим автору диссертации была поставлена важная актуальная задача разработать научно обоснованную схему и программу построения современной геодезической сети на всей территории Йемена.

Целью настоящей работы является изучение и разработка схемы и программы построения современной государственной геодезической сети, используя достижения космической геодезии, а также хорошо зарекомендовавшие себя на практике классические методы высшей геодезии.

Научная новизна работы.

В диссертации получены следующие новые научные результаты:

– сформулированы и научно обоснованы основные теоретические

- положения, которым должна удовлетворять современная государственная геодезическая сеть страны;
- разработан строгий метод расчёта плотности пунктов проектируемой опорной геодезической сети и сети сгущения Йемена;
 - спроектирован по карте (Google Earth) проект построения ГГС на часть территории Йемена (в обжитых и экономически перспективных регионах);
 - применительно к территории Йемена (около 530 тыс.км²) предусмотрено построение на основе спутниковой технологии высокоточной геодезической сети (ВГС) и спутниковой геодезической сети 1 класса (СГС-1);
 - показано по результатам оценки точности, что предлагаемый проект обеспечивает требуемую точность определения взаимного положения смежных пунктов;
 - сделан вывод, что результаты уравнивания сетей ВГС и СГС-1, результаты 3D и 2D уравнивания практически совпадают.

Практическая ценность работы

Результаты выполненного анализа и расчётов могут быть использованы при геодезическом обеспечении построения современной государственной геодезической сети страны. Они могут быть использованы также в научно-исследовательской работе и в учебном процессе при подготовке инженеров геодезистов.

Публикации и апробация работы

Основные результаты работы обсуждены на 63-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных МИИГАиК (Москва, апрель 2008г.). По теме диссертации опубликованы 2 научные статьи в журналах, рекомендованных ВАК России. Выполненные в диссертации исследования обсуждались на заседании кафедры геодезии Московского Государственного Университета геодезии и картографии и получили одобрение.

Объём и структура диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, 3 глав, заключения, списка литературы из 48 наименований и приложений на 38 стр. Общий объем диссертации 143 стр., включает 17 рисунков и 15 таблиц.

Содержание работы.

Во введении кратко обосновывается актуальность данной работы, сформулированы цели и задачи проекта.

В первой главе выполнено описание физико-географических особенностей Йемена, которые необходимо учитывать при разработке проекта и основных научных положений о построении современной опорной геодезической сети страны. Отмечается, что территория страны сравнительно мала, и что по своему широтному положению территория Йемена относится к субтропическому поясу, а ландшафт включает горный массив, с высотой гор до 3600 м над уровнем моря, и плоские области, включая и обширные пустыни (рис.1.).



Рис.1. Карта Йемена

Приведено описание существующей геодезической сети и целесообразность её использования при проектировании современной государственной геодезической сети страны.

В 1974 г. был заключен контракт между Демократической Республикой Йемен и СССР по созданию топографической карты масштаба 1:100000 на территории южного Йемена.

Для обеспечения планово-высотной основы вновь создаваемой карты была развита геодезическая сеть из 10 полигонометрических, трёх астрономических и 20 пунктов трилатерации с использованием самолетного радиодальномера (РДС). Также создана высотная основа методом геометрического нивелирования III и IV классов.

В топографо-геодезических и картографических работах на этой территории с 1975 г. применяется эллипсоид Красовского и проекция Гаусса-Крюгера.

На северной территории страны в соответствии с договором, заключенным с Великобританией в 1975г., английское управление заморских съемок создало на всю территорию северного Йемена карту масштаба 1:50000 . В качестве геодезической основы была построена опорная сеть из 87 пунктов с использованием доплеровского метода определения разностей координат пунктов, и на их основе развита сеть полигонометрии 2-3 классов из 368 пунктов. Взаимное положение смежных пунктов в доплеровской геодезической сети определено со средней квадратической ошибкой 0,5м. Геодезические координаты пунктов вычислены в системе эллипсоида WGS 72 .

Таким образом, на территории объединенного в 1990г. государства Йеменской республики, построенные до 1993 года в разных частях страны разными методами опорные геодезические сети по точности и плотности пунктов рассчитаны на геодезическое обеспечение топографических съёмок в масштабах 1:50 000 и 1: 100 000. Координаты

пунктов вычислены на разных эллипсоидах, от разного начала; высоты пунктов в этих сетях определены относительно разных уравненных поверхностей: в одном случае относительно среднего уровня Красного моря, а в другом от среднего уровня Аденского залива.

Прямоугольные плоские координаты геодезических пунктов на севере и юге страны вычислены в разных картографических проекциях: УТМ Меркатора и Гаусса-Крюгера соответственно.

В 1993г. на северной территории страны французские специалисты построили опорную геодезическую сеть, состоящую из 7 пунктов каркасной сети (рис.2) и 229 пунктов сети сгущения.

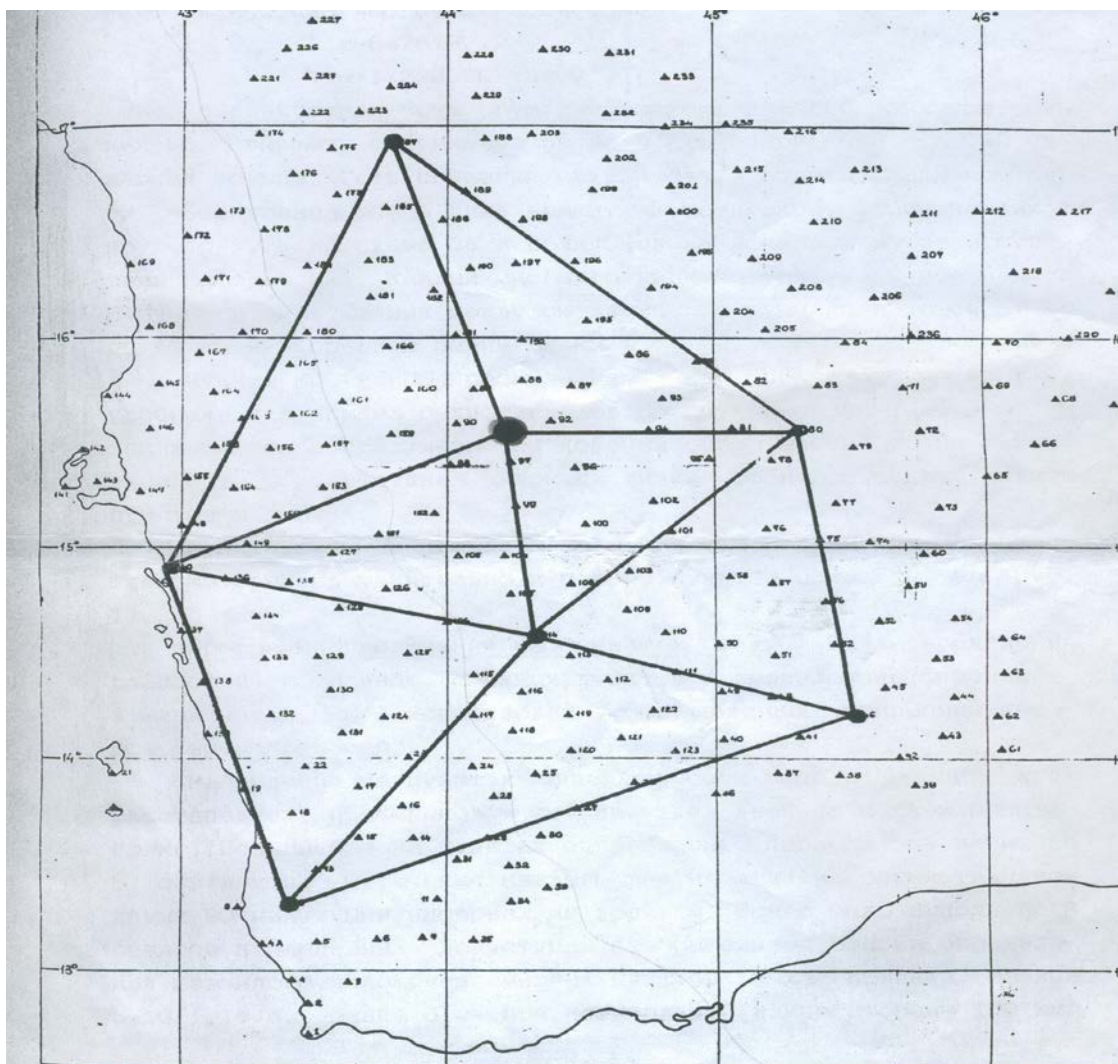


Рис.2 Каркасная геодезическая сеть из 7 пунктов (1993г).

В данной главе показано, что построенные в Йемене геодезические сети в период до 1992г. ни по обслуживаемой ими территории, ни по точности построения, ни по строгости математической обработки не отвечают современным требованиям, предъявляемым к опорным геодезическим сетям. К недостаткам выполненных работ следует отнести отсутствие государственной программы всех геодезических работ, а также их разрозненность в территориальном отношении. Возникла необходимость создания на всей территории Йемена высокоточной опорной геодезической сети с использованием высоко производительной спутниковой системы GPS. Эта проблема имеет важное государственное значение и отражена в перспективных планах работы организации картографии Йемена.

В данной главе приведены также сведения об аэрофотосъемочных и картографических работах. Картографирование территории страны выполнено в масштабах 1:100 000 и 1:50 000.

Во второй главе выполнены следующие исследования:

- сформулированы основные требования к современной государственной геодезической сети.

- выполнен расчет необходимой плотности и точности пунктов опорной геодезической сети для целей картографирования территории Йемена.

При составлении проекта топографической съёмки на заданную территорию должна быть тщательно обоснована норма плотности геодезической сети в зависимости от ближайшей перспективы экономического развития страны.

Норма плотности пунктов геодезических сетей на данной территории должна обеспечить наиболее крупный масштаб топографической съёмки (1:2000).

Требуемая плотность геодезических пунктов при общегосударственном картографировании территории страны зависит от

масштаба топографической съёмки площади территории, а также от методов создания геодезического обоснования.

С учетом современных требований к созданию спутниковых геодезических сетей выполнен расчет общего числа геодезических пунктов для территории Йемена (табл.1).

Таблица 1

Класс триангуляции	Средняя длина стороны	Площадь, обслуживаемая одним пунктом, км ² $P_0 \approx S_i^2$	Число пунктов n	Процент %
I	32	1024	528	4 %
II	17	289	1343	9 %
III	10	100	3539	23 %
IV	6	36	9617	64 %

Разработана наиболее целесообразная схема построения современной государственной геодезической сети с использованием GPS-измерений, причем проектирование осуществлялось с учетом тщательного анализа физико-географических условий страны.

Для надежности создания государственной геодезической сети проектирование осуществлялось в два этапа. На первом этапе спроектирована Высокоточная геодезическая сеть ВГС, а на втором - спутниковая геодезическая сеть I-го класса СГС-1.

Моделирование спутниковых геодезических сетей

Для моделирования сети GPS Йемена необходимо *дать перечень* всех координат точек в геодезической системе В, L и Н в соответствии с их именами, начиная от исходного пункта. Эти координаты получены автором из программы “Google Earth” на эллипсоиде WGS-84.

Для перехода от эллипсоидальных координат к прямоугольным д. проф. Маркузе Ю.И. разработана программа, которая позволяет

выполнять преобразование геодезических координат B, L в плоские прямоугольные координаты x, y в проекции Гаусса-Крюгера на одном и том же эллипсоиде в одной восьмой зоне.

Для моделирования геодезической сети необходимо ввести связи между пунктами, то есть указать линии, по которым будут выполнены измерения базисных векторов.

Затем по цепочке преобразования $xуН \rightarrow BLN \rightarrow XYZ$ с помощью программы TERSPACE они преобразуются в прямоугольные координаты X, Y, Z так же на эллипсоиде WGS-84.

Кроме этого, вводятся также величины с.к.о, характеризующие точность измерений (приращений координат) по всем трём осям. При моделировании они были приняты одинаковыми для всех линий и равными 0.005 м по осям X и Y и 0.007 м по оси Z , коэффициенты корреляции были приняты равными 0.7.

Поэтому уравнивание выполнялось с корреляционной матрицей

$$K = \begin{pmatrix} 25 & 18 & 24 \\ & 25 & 24 \\ & & 49 \end{pmatrix} * 10^{-6}.$$

По координатам всех пунктов и указанным связям программа вычисляет истинные значения приращений координат (трёх элементов базисных векторов), и с помощью указанных показателей точности в них вводятся распределённые по нормальному закону истинные ошибки. Для этого корреляционные матрицы необходимо привести к диагональному виду, что выполняется специальной программой.

Уравнения поправок для базисных векторов при уравнивании в пространственной декартовой системе координат составляются также как для нивелирных ходов, но по трём осям:

$$v_x = -\delta_{x_s} + \delta x_t + l_x,$$

$$v_y = -\delta_{y_s} + \delta y_t + l_y,$$

$$v_z = -\delta_{z_s} + \delta z_t + l_z.$$

Здесь s и t номера начальной и конечной точки.

Учёт этих уравнений поправок выполняется по рекуррентному алгоритму с учётом их корреляционной матрицы по формулам.

При учёте избыточных измерений, так как матрица коэффициентов нормальных уравнений при параметрическом способе уравнивания

$$R = R_{i-1} + A_i^T P_i A_i, \quad (1)$$

где матрица $R_{i-1} = A_{i-1}^T P_{i-1} A_{i-1}$ составлена для уравнений поправок для i-1 измерений

$$V_{i-1} = A_{i-1} \Delta x_{i-1} + L_{i-1}, \quad (2)$$

справедливая для невырожденных матриц S и T, для матрицы $Q = R_i^{-1}$, получим выражение

$$Q_i = Q_{i-1} - Z_i^T N_i^{-1} Z_i, \quad (3)$$

где матрицы

$$Z_i^T = Q_{i-1} A_i^T, \quad (4)$$

$$N_i = P_i^{-1} + A_i Q_{i-1} A_i^T = P_i^T + A_i Z_i^T. \quad (5)$$

Если же эти измерения необходимы, то уравнение поправок будет таким

$$V_i = A \Delta x_i + \alpha \Delta x + L_i. \quad (6)$$

Ясно, что матрица коэффициентов при новых неизвестных α_i будет квадратной.

А матрица обратных весов

$$Q_i = \begin{pmatrix} Q_{i-1} & -Z_i^T \alpha_i^{-T} \\ -\alpha_i^{-1} & \alpha_i^{-1} N_i \alpha_i^{-T} \end{pmatrix}, \quad (7)$$

где $\alpha_i^{-T} = (\alpha_i^T)^{-1}$.

При этом один из пунктов выбирают безошибочным (пункт 1 SANA). В результате уравнивания на ЭВМ по программе GPS-1 вычислены координаты X, Y, Z и их ковариационная матрица K(x, y, z). По программе SPACETER по цепочке X, Y, Z => B, L, H => x, y, H вычисляются плановые координаты в проекции Гаусса - Крюгера и их ковариационная матрица K(x, y, H).

Для оценки точности при вычислении на ЭВМ целесообразно применить численный метод дифференцирования. Нами составлена программа для ЭВМ на языке BASIC, приведённая в приложении 1.

Схема проектируемой сети ВГС, расположенная в двух шестиградусных зонах, изображена на рис.3.

Число пунктов в этой сети – 12, и известны геодезические координаты B, L и H всех пунктов. Расстояния между смежными пунктами 170 – 290 км.

На втором этапе - спутниковая геодезическая сеть I-го класса СГС-1 состоит из 39 пунктов, из них 4 пункта являются пунктами ВГС. Расстояния между смежными пунктами 17 – 50 км (см. рис.4).

Таблица 2

№	Оцениваемые элементы	ВГС	СГС-1
1	Число пунктов	12	39
2	Длина сторон км	283----87	70-----19
3	$(m_S/S)_{cp}$	1: 500 000	1: 80 000
4	$m_A''_{cp}$	0.98	0.96
5	m_x_{cp}	0.006	0.009
6	m_y_{cp}	0.002	0.005
7	m_H_{cp}	0.006	0.005

Объединения наземных и спутниковых геодезических сетей

Для объединения наземных и спутниковых (GPS) геодезических сетей использованы алгоритмы, разработанные д. т. н. Маркузе Ю.И. с определением семи параметров преобразования координат (алгоритм СОМВГМЕ 7).

Для объединения сетей в пространстве необходимо выполнить преобразование плановых координат и высот в пространственную систему координат.

Само преобразование выполняется программой TERSPACE.

В основу совместного уравнивания спутниковых и наземных сетей положено матричное равенство, справедливое для каждого идентичного пункта

$$T_i = (a_i + m\Pi * S_i), \quad (8)$$

где матрица

$$\Pi = \begin{pmatrix} 1 & -\varepsilon_z & \varepsilon_y \\ \varepsilon_z & 1 & -\varepsilon_x \\ -\varepsilon_y & \varepsilon_x & 1 \end{pmatrix}$$

составлена из малых углов вращения трёх осей координат, a_1 – вектор сдвига начала системы координат, S_i – вектор пространственных координат X,Y,Z, полученных в результате уравнивания базисных векторов (Base Line) $(\Delta X \Delta Y \Delta Z)_i^T$ с учётом их ковариационных матриц с фиксацией одного пункта сети GPS по рекуррентному алгоритму с контролем грубых ошибок. Вектор T получен преобразованием наземных координат x, y, H и их ковариационных матриц по специальной программе TERSPACE в прямоугольную систему координат X,Y,Z на эллипсоид Бесселя или Красовского.

В результате линеаризации системы (10) для k_i идентичных пунктов получены условные уравнения с дополнительными неизвестными, которые имеют вид

$$V_{i,ter} - V_{i,gps} - G_i \Delta a + W = 0, \quad (9)$$

с матрицей

$$G_i = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & Z & -Y & X \\ 0 & 1 & 0 & -Z & 0 & X & Y \\ 0 & 0 & 1 & Y & -X & 0 & Z \end{pmatrix}, \quad (10)$$

полученной в результате линеаризации (8) при малых углах поворота осей координат и составленной из GPS- координат пункта i. Δa – вектор поправок к приближённым параметрам преобразования координат, V – векторы поправок к координатам наземных и GPS пунктов.

Вектор приближённых значений параметров $a^{(0)}$ можно получить по формуле

$$a^{(0)} = G_1^{-1} (T_{ter} - S_{GPS})^{7 \times 1},$$

где матрица G_1 порядка 7 составляется по трём идентичным пунктам, причём для третьего идентичного пункта из трёх уравнений нужно выбрать только то одно, которое приводит к наилучшей обусловленности матрицы G_1 .

Далее, с целью перехода от способа условий с дополнительными неизвестными к способу условий с целью контроля грубых ошибок координат наземных пунктов формируем матрицу γ , которая будет иметь все нулевые блоки, кроме G^{-1} , расположенные в ней согласно номерам пунктов, участвующих в вычислении параметров. По формуле

$$Q \begin{pmatrix} T \\ S \\ a^{(0)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P^{-1} & P^{-1}\gamma^T \\ \gamma P^{-1} & \gamma P^{-1}\gamma^T \end{pmatrix} \text{ с матрицей обратных весов измерений получена}$$

$$P^{-1} = \begin{pmatrix} Q_T & 0 \\ 0 & Q_S \end{pmatrix}.$$

Затем, учитывая по рекуррентным формулам каждое из условных уравнений,

$$V_T - V_S - GV_a + W = 0,$$

как избыточное с обратным весом $1/p = 0$ (кроме тех семи, которые понадобились для определения приближённых параметров) и выполняя контроль грубых ошибок в координатах исходных пунктов, в результате получим уравненные векторы $\tilde{T}, \tilde{S}, \tilde{a}$, вектор параметров преобразования координат и необходимую для оценки точности квадратичную форму

$$\Phi = V^T Q \begin{pmatrix} T \\ S \\ a^{(0)} \end{pmatrix} V.$$

Решение системы (9) выполняется по рекуррентному алгоритму с контролем грубых ошибок. После уравнивания должно быть выполнено преобразование GPS –координат всех пунктов по формулам:

$$T = a_1 + mPS \quad (11)$$

или

$$T = S + Ga, \quad (12)$$

которые теоретически должны давать одинаковые результаты.

Заметим, что фиксация одного пункта сети GPS не влияет на результаты окончательного уравнивания.

Для объединения сетей на плоскости необходимо вектор S и его корреляционную матрицу K_s , полученные после уравнивания базисных векторов. преобразовать по цепочке $X,Y,Z \rightarrow B,L,H \rightarrow x,y,H$ и соответственно корреляционную матрицу уравненных координат на эллипсоиде WGS-84 в проекции Гаусса-Крюгера. Этот процесс выполняется с помощью программы SPACETER. В результате получим вектор координат s и матрицу K_s .

Вспомним формулы преобразования координат на плоскости:

$$\begin{aligned} x' &= x + a_x + \bar{\alpha}x - \beta y, \\ y' &= y + a_y + \beta x + \bar{\alpha}y, \end{aligned} \quad (13)$$

где $\bar{\alpha} = m \cos \varphi - 1$, $\beta = m \sin \varphi$, m и φ -масштабный фактор и угол поворота осей координат, a_x , a_y -координаты начала системы x,y в системе x',y' . Рассматривая теперь вектор координат s и вектор t в наземной системе координат преобразования непосредственно измеренными величинами с известными матрицами обратных весов Q_s и Q_t , для общих (идентичных) пунктов составляем для уравнений связи (13) условные уравнения, которые в линейном виде для каждого пункта i будут такими:

$$V_s - AV_t - G\Delta_a + W = 0, \quad (14)$$

где векторы поправок $V_s = (\delta x \ \delta y)_s^T$, $V_t = (\delta x \ \delta y)_t^T$.

Матрица $A = \begin{pmatrix} \bar{\alpha} & -\beta \\ \beta & \bar{\alpha} \end{pmatrix}$. Вектор Δ_a содержит поправки к приближённым значениям параметров преобразования $a_x, a_y, \bar{\alpha}, \beta$. Составляемая из элементов вектора x_t матрица

$$G_i = \begin{pmatrix} 1 & 0 & x_i & -y_i \\ 0 & 1 & y_i & x_i \end{pmatrix}_s,$$

Вектор приближённых значений параметров несложно найти по двум пунктам

по формуле $a^{(0)} = G_1^{-1}(x_s - x_t)$.

Далее, как и в алгоритме COMBINE 7 с помощью матрицы γ получаем матрицу $Q_{\begin{pmatrix} s \\ t \\ a \end{pmatrix}}$.

Затем, учитывая по рекуррентным формулам каждое из условных уравнений

$$V_s - AV_t - GV_{\Delta a} + W = 0,$$

как избыточное с обратным весом $1/p = 0$ (кроме тех, которые понадобились для определения приближённых параметров) и выполняя контроль грубых ошибок в координатах исходных пунктов, в результате получим уравненные векторы \tilde{x}_s, \tilde{x}_t , вектор параметров преобразования координат и квадратичную форму. Останется только, используя уравненные параметры, выполнить преобразование вектора координат x_s и его матрицу обратных весов в систему координат наземных пунктов. При этом вектор координат \tilde{x}_t и под вектор x_s , относящийся к идентичным пунктам, должны совпадать, что является контролем решения задачи.

Аналогичные формулам (13) и (14) формулы преобразования координат теперь имеют вид

$$T = S + a_1 + AS .$$

$$T = S + Gt .$$

Уравнивание на плоскости (2D) имеет существенное преимущество над уравниванием в пространстве, так как не требуется преобразовывать координаты идентичных пунктов в пространственные координаты, и поэтому не нужны геодезические высоты и знания аномалий высот.

Кроме того, как показали результаты уравнивания сетей ВГС и СГС-1, результаты 3D и 2D уравнивания практически совпадают.

Преобразование эллипсоидальных высот в нормальные здесь не рассматривается, хотя для этого имеется соответствующая программа.

Для объединения сетей сначала создаётся файл с расширением ter(таб.3),

Таблица 3

Пункт	X	Y	H	M_x	M_y	M_H	ζ
San	1698094.936	8413085.376	2210.9944	0.000	0.000	0.000	0
Damar	1612705.052	8431782.525	1883.1400	0.004	0.002	0.004	0
Baida	1569803.085	8558140.092	538.9947	0.004	0.002	0.005	0
Marib	1720029.326	8535697.221	1230.9841	0.005	0.002	0.006	0
Matar	1694073.356	8396721.045	1872.9970	0.009	0.004	0.004	0
Rusa	1641059.579	8400885.162	1893.0032	0.007	0.004	0.005	0
Sabik	1677643.130	8463998.744	1487.0000	0.007	0.005	0.005	0
Yram	1671163.585	8488951.866	1316.9970	0.008	0.005	0.005	0
Kan	1689426.747	8480188.458	1671.0032	0.007	0.005	0.005	0
Alwad	1631426.742	8481815.031	1419.9930	0.008	0.005	0.005	0
Isbis	1645159.759	8507562.786	912.9930	0.008	0.006	0.006	0
Nar	1607319.069	8464252.638	1500.9960	0.008	0.005	0.006	0

Yaktol	1619978.382	8533215.282	982.9920	0.008	0.005	0.006	0
Shahil	1633417.109	8554281.924	1015.9999	0.009	0.006	0.006	0

где ζ – аномалии высот, принятые нами равными нулю, так как мы использовали эллипсоидальные высоты.

Отметим, что координаты наземных пунктов нам не были известны, и мы выбрали 14 пунктов сети СГС-1 (также на эллипсоиде WGS-84) как идентичные для того, чтобы проверить работу программы и изучить её для последующего использования.

В результате получены параметры преобразования (таб.4) и плоские координаты всех пунктов GPS.

Таблица 4

3 сдвига осей	0.009 <i>m</i>
	0.009 <i>m</i>
	- 0.016 <i>m</i>
3 угла Эйлера	0.002"
	0.001"
	0.000"
Масштабный фактор	1

Объединение сетей выполнено также и на плоскости по программе GPS-2D.

Получены параметры преобразования:

сдвиги – (- 0.155 и 0.035),

Разворот осей - 0,

Масштабный фактор – 1 .

Глава 3. Для сгущения сети СГС-1 смоделирована полигонометрическая сеть второго класса. Исходными пунктами при уравнивании сети второго класса являлись пункты уравненной ранее сети СГС-1 (Matar, San, Yslh, Hzan, Rusa) . Сеть уравнивалась с учётом ошибок исходных данных пунктов СГС-1.

Для моделирования полигонометрической сети необходимо ввести связи между пунктами, то есть указать линии, по которым будут выполнены измерения направлений и сторон (именно эти линии образуют сеть на рис.5).

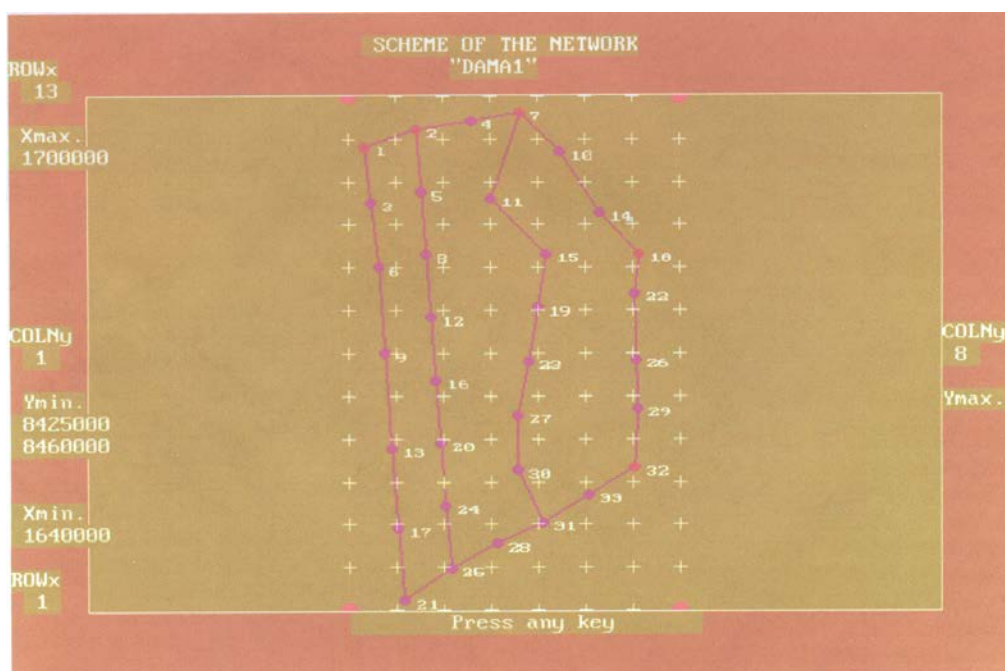


Рис.5. Полигонометрическая сеть 2 класса

Для уравнивания полигонометрической сети с помощью программы “CAD -NEW” составленной д.т.н. Маркузе Ю.И., вводятся координаты x, y и имена всех пунктов, а также с.к.о. измеренных направлений и длин сторон (для второго класса $\sigma_N = 1''$ и $\sigma_S = 0.04m$). Координаты исходных пунктов Matar, San, Yslh и Hzan и их

корреляционные матрицы порядка 2×2 , полученные в результате уравнивания сети GPS для каждого пункта, определяются программой автоматически по именам пунктов, которые в обеих сетях должны быть идентичными.

Матрица обратных весов исходных координат, составленная по именам пяти исходных пунктов, получена равной

$$Q_{исх} = \begin{pmatrix} 0.90 & -0.20 & 0.58 & -0.29 & 0.78 & -0.35 & 0.52 & 0 & 0.36 & -0.13 \\ & 1.52 & 0.21 & 0.33 & -0.23 & 0.83 & 0 & 0 & 0.16 & 0.24 \\ & & 0.19 & -0.22 & 0.58 & -0.14 & 0 & 0 & 0.42 & 0.16 \\ & & & 0.13 & -0.28 & 0.92 & 0 & 0 & -0.14 & 0.37 \\ & & & & 0.95 & -0.33 & 0 & 0 & 0.46 & -0.10 \\ & & & & & 0.22 & 0 & 0 & 0.53 & 0.30 \\ & & & & & & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & & & & & 0 & 0 & 0 \\ & & & & & & & & 1.7 & 0 \\ & & & & & & & & & 0.18 \end{pmatrix} * 10^{-5}$$

Уравнивание с учётом ошибок исходных данных достаточно просто выполняется с применением рекуррентного алгоритма.

Для сгущение полигонометрической сети 2 класса нами была спроектирована полигонометрическая сеть 3 класса в виде горизонтальных линии между пунктами сети 2 класса (рис.6). Сеть уравнивалась с учётом ошибок исходных данных пунктов полигонометрической сети 2 класса.

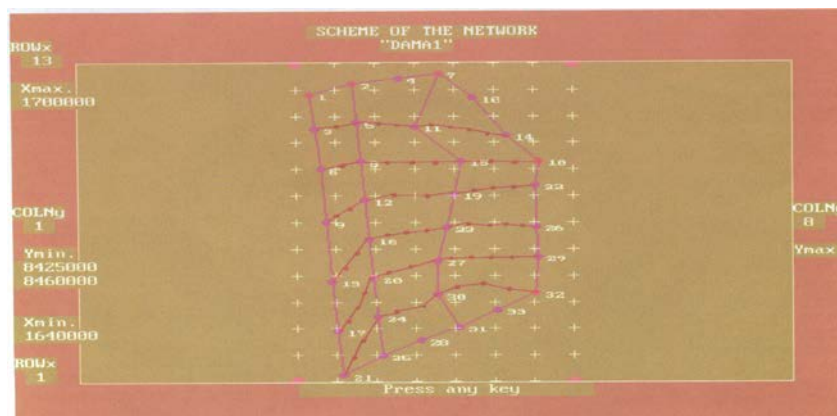


Рис.6. Полигонометрическая сеть 3 класса

Для высотного обоснования в диссертационной работе использовались существующие материалы по нивелированию II и III классов, а также все пункты GPS для обеспечения высотной основы всех регионов страны в системе нормальных высот.

Традиционным аналогом GPS-нивелирования является метод геометрического нивелирования, который, несмотря на автоматизацию некоторых трудовых операций, до сих пор является одним из самых трудоемких процессов топографо-геодезического производства.

GPS-метод, как альтернатива традиционному методу, может использоваться в том случае, если обеспечивает выполнение требований к точности определения превышений, изложенных в инструкции.

Заключение

В диссертационной работе выполнены разработки проекта построения Государственной геодезической сети Йемена с использованием современных спутниковых технологий по рекомендации Йеменской геодезической службы на основе изучения опыта выполнения подобного вида работ в России:

- показано, что существующая опорная ГГС ни по площади обслуживаемой ею территории, ни по точности построения, ни по строгости математической обработки не отвечает современным требованиям и не удовлетворяет запросам науки и народного хозяйства;

- разработаны и научно обоснованы основные положения создания государственной геодезической сети Йемена;

- моделирование ГГС страны осуществлялось в два этапа. На первом этапе спроектирована высокоточная геодезическая сеть ВГС, а на втором - спутниковая геодезическая сеть I-го класса СГС-1;

- выполнена оценка точности с использованием численного метода дифференцирования. Нами составлен блок программ для ЭВМ на языке BASIC;

- для сгущения сети СГС-1 смоделированы полигонометрические сети второго и третьего класса, уравнивания полигонометрических сетей выполнялось с учетом ошибок исходных данных.

Публикации по теме диссертации

1. Хайдар абдулракиб мохамед. Разработка проекта построения современный государственной геодезической сети Йемена. Геодезия и аэрофотосъемка, № 5, 2008, с. 38 – 41.
2. Хайдар абдулракиб мохамед. Уравнивание и оценка точности модели полигонометрической сети сгущения. Геодезия и аэрофотосъемка, № 1, 2009.