В.Д. Большаков

Справочник геодезиста

Книга 2

Москва
«Книга по Требованию»

УДК 91
ББК 26.8
В11

В.Д. Большаков
В11 Справочник геодезиста: Книга 2 / В.Д. Большаков – М.: Книга по Требованию, 2023. – 534 с.

ISBN 978-5-458-28693-0

В Справочнике в двух книгах изложены теория и практика геодезических работ, описаны инструменты, способы обработки результатов измерений, техника вычислений. Второе издание Справочника переработано и дополнено новыми разделами: космическая геодезия, радиогеодезические системы, гироскопические приборы, экономика и организация геодезических работ. Справочник состоит из шести разделов. В книге 2 даны уравнительные вычисления в триангуляции и трилатерации, полигонометрия, гироскопические определения, нивелирование. Четвертый раздел посвящен методам топографических съемок: теодолитной, тахеометрической, мензульной, и методам фототопографических съемок: комбинированной, стереотопографической, наземной стереофотограмметрии. В пятом разделе приведены основные сведения по инженерно-геодезическим изысканиям, разбивочным работам, методам установки и выверки строительных конструкций и технологического оборудования, наблюдениям за деформациями сооружений. В шестом разделе даны общие понятия об экономике производства, планировании и организации геодезических работ. Справочник предназначен для инженеров и техников, выполняющих основные геодезические работы и топографические съемки, а также изыскания и разбивки инженерных сооружений. Он будет полезен для преподавателей, аспирантов и студентов геодезических специальностей высших учебных заведений.

ISBN 978-5-458-28693-0

Серия Книжный Ренессанс
www.samizday.ru/reprint

Очевидно, что для вычисления координат всех пунктов триангуляции необходимо иметь два исходных пункта либо один пункт, а также один дирекционный угол и длину одной стороны; в полигонометрии и трилатерации, кроме исходного пункта, достаточно иметь один дирекционный угол.

Для определения координат пунктов государственных сетей 2, 3 и 4 классов обязательно наличие избыточных жестких исходных данных, в числе которых должно быть не менее трех исходных пунктов. Как исключение разрешается вместо одного исходного пункта использовать базисную сторону и азимут Лапласа. Уравнивание государственных сетей как свободных не разрешается. Лишь сеть 1 класса уравнивается на основе единственного начального пункта.

В качестве исходных при уравнивании государственных геодезических сетей служат следующие данные:

— в сети 1 класса — начальный пункт, а также базисные стороны и геодезические азимуты на концах всех звеньев;

— в сети 2 класса —элементы сети 1 класса, а также базисные стороны и геодезические азимуты уравниваемой сети;

— в сетях и фигурах 3 и 4 классов — элементы сетей высших классов.

В специальных геодезических сетях исходными служат пункты государственной сети.

III.4.3. Измеряемые величины. Системы координат

В геодезических сетях измеряют горизонтальные и вертикальные углы, расстояния, а также астрономические широты, долготы и азимуты. Все эти величины измеряются в топоцентрической системе координат, основной осью которой служит отвесная линия, т. е. касательная в данной точке к силовой линии гравитационного поля, или, иными словами, нормаль к уровенной поверхности. Так как уровенные поверхности — неправильные в геометрическом отношении, то с достаточной точностью, соответствующей точности измерений, обработать совместно результаты измерений, выполненных в разных пунктах земной поверхности, нельзя. Поэтому в СССР, по предложению выдающегося советского геодезиста Ф. Н. Красовского [2], для математической обработки государственной геодезической сети применяется метод проектирования, сущность которого заключается в следующем.

Результаты измерений, выполненных на разных пунктах сети в разных системах координат, исправляют «редукционными» поправками для приведения (редуцирования) этих результатов в общую систему координат. Получив все результаты измерений в единой системе координат, можно выполнить их совместное уравнивание. Заметим, что для применения метода проектирования необходимо выполнить соответствующую гравиметрическую съемку.

Общую систему координат выбирают на поверхности референц-эллипсоида (на «поверхности относимости»). Для этого должны быть определены параметры эллипсоида, т. е. a — большая полуось и α — сжатие, а также начальный пункт, для которого назначают геодезические координаты: B_0 — широту, L_0 — долготу и H_0 — геодезическую высоту над поверхностью относимости. Выбранные величины a, α, B_0, L_0 и H_0 называют **исходными датами***. Для получения исходных дат выполняют соответствующие астрономические определения и гравиметрическую съемку

В свете современных требований космической геодезии исходные даты должны обеспечивать как можно более близкое совмещение референц-эллипсоида с общим земным эллипсоидом.

Как известно, в СССР с 1946 г принята «Система координат 1942 года», основанная на исходных датах полученных под руководством Ф. Н Красовского.

Направления и углы. Результаты наблюдений горизонтальных углов на каждом геодезическом пункте, независимо от применявшихся способов наблюдений, после уравнивания на станции всегда представляются в виде ряда направлений. Эти ряды (по одному на каждом пункте) при уравнивании сети рассматриваются как непосредственные результаты измерений. Нарушения строгости уравнивания от этого не происходит, что доказывается теоретически (см., например, [6], § 26).

Однако при уравнивании геодезических сетей в качестве результатов измерений часто принимают не направления, а углы, образованные смежными направлениями. Несмотря на очевидное нарушение при этом строгости уравнивания, его результаты оказываются вполне приемлемыми для сетей 3 и 4 классов.

Ниже будут рассматриваться способы уравнивания как направлений, так и углов.

III.4.4. Точности измерений и вычислений

Как уже указывалось выше, уравнительные вычисления геодезических сетей всех классов выполняются на плоскости. Для этого все редуцированные на поверхность относимости результаты измерений переносят затем на плоскость в проекции Гаусса.

Для суждения о пренебрегаемости тех или иных поправок и о необходимой точности их вычисления приведем данные о порядках точности измерения различных величин в геодезических сетях. При этом имеется в виду действительная точность, а не оценка по внутренней сходимости **.

Направления измеряются со следующими средними квадратическими ошибками:

в сети 1 класса $m \approx 0{,}5''$;
» » 2 » $m \approx 0{,}6''$;
» » 3 » $m \approx 0{,}9''$;
» » 4 » $m \approx 1{,}3''$.

Расстояния s измерялись со средними квадратическими ошибками следующих порядков:

подвесными мерными приборами — при $s_0 = 10$ км; 1 см $\lesssim m \lesssim$ 2 см;

---

* Ориентировка сети обеспечивается азимутами на всех пунктах Лапласа, а не только в начальном пункте. Поэтому азимут Лапласа в начальном пункте неправильно причислять к исходным датам.

** Приведенные характеристики точности измерений получены из анализа производственных материалов.

светодальномерами

при s от 5 км до 10 км: 0,2 дм $< m <$ 0,5 дм;

» s » 10 » » 20 »: 0,3 » $< m <$ 0,7 »;

» s » 20 » » 30 »: 0,5 » $< m <$ 1,0 ».

Последние модели светодальномеров дают более высокую точность.

Точность радиодальномеров несколько грубее точности светодальномеров, а результаты — менее надежны.

Точность азимутов Лапласа зависит от географической широты места и характеризуется средними квадратическими ошибками от 1" до 2,5".

Выходные стороны базисных сетей имеют точность порядка $^1/_{200\,000}$—$^1/_{400\,000}$.

Нормальные высоты определяются относительно уровенной поверхности Кронштадтского футштока (т. е. относительно геоида) со средними квадратическими ошибками порядка от нескольких сантиметров до нескольких дециметров при больших удалениях от этого футштока.

Геодезические высоты (над поверхностью референц-эллипсоида), которые слагаются из высоты над геоидом и высоты геоида над поверхностью референц-эллипсоида (аномалии высоты), определяются на порядок грубее нормальных высот и на больших удалениях от Пулково имеют ошибки, исчисляемые в метрах.

Вертикальные углы измеряются со средними квадратическими ошибками порядка 2—4". При этом имеется в виду вертикальный угол касательной к рефракционной кривой.

Поправки за приведение результатов измерений к центрам пунктов и на плоскость обязательно вычисляются в сетях всех классов.

В сети 1 класса, кроме того, вычисляют поправки в направления за уклонение отвеса, за высоту наблюдаемой визирной цели и за переход от нормального сечения к геодезической линии.

В заполняющих сетях 2, 3 и 4 классов поправки за переход к геодезической линии не вводят ввиду их малости; что же касается поправок в направления за уклонение отвеса и за высоту наблюдаемой визирной цели, то их следует вводить в тех случаях, когда абсолютная величина этих поправок превышает $^1/_5$ часть средней квадратической ошибки измерения. Этого же правила надо придерживаться и для редукционных поправок в расстояния.

В отношении точности вычисления поправок вполне обосновано пользоваться таким правилом: средняя квадратическая ошибка вычисленной поправки не должна превышать $^1/_{10}$ части средней квадратической ошибки измерения. Предполагается при этом, что округления чисел делаются по правилу Гаусса.

III.4.5. Редукционные поправки

Ниже приведены формулы вычисления редукционных поправок в направления, расстояния и астрономические азимуты [2, 7].

а. Поправка в направление за уклонение отвеса (v^u).

$$v^u_{12} = u_1 \sin(\theta_1 - A_{12}) \operatorname{tg} \nu_{12}, \qquad \text{(III.4.1)}$$

где

$$u_1 = \sqrt{\xi_1^2 + \eta_1^2},$$

ξ_1 и η_1 — составляющие уклонения отвеса на пункте 1,

$$\theta_1 = \mathrm{arctg}\,\frac{\eta_1}{\xi_1},$$

A_{12} — азимут направления (достаточно знать до 1°), ν_{12} — угол наклона.

б. Поправка в направление за высоту наблюдаемой визирной цели (v^H).

$$v_{12}^H = cH_2^{\text{км}}\sin 2A_{12}, \qquad \text{(III.4.2)}$$

где

$$c = 0{,}11\cos^2 B,$$

B — средняя широта для всей заполняющей сети или для звена 1 класса, $H_2^{\text{км}}$ — высота визирной цели (берется с карты до 0,1 км), A_{12} — азимут направления (до 1°).

в. Редуцирование наклонного расстояния.

$$1)\quad v_h = -\left(\frac{h^2}{2s} + \frac{h^4}{8s^3}\right) = -\left(v_0 + \frac{v_0^2}{2s}\right), \qquad \text{(III.4.3)}$$

где s — наклонное расстояние,

$$h = H_2^\gamma - H_1^\gamma + s\,\frac{\vartheta_{21} - \vartheta_{12}''}{2\rho''}, \qquad \text{(III.4.3')}$$

H^γ — нормальная высота,

$\vartheta_{kl} = u_k \cos(A_{kl} - \theta_k)$ (о величинах u и θ см. пункт «а»),

$$\rho'' = 206\,265''.$$

$$2)\quad d = s + v_h; \qquad \text{(III.4.4)}$$

поправка v_h всегда отрицательна, т. е. ее абсолютное значение всегда вычитается.

$$3)\quad S = d - d\,\frac{H_{\text{ср}}}{R + H_{\text{ср}}} + \frac{d^3}{24R^2}, \qquad \text{(III.4.5)}$$

где S — редуцированное расстояние,

$H_{\text{ср}} = H_{\text{ср}}^\gamma + \zeta_{\text{ср}}$ — средняя геодезическая высота,

$$H_{\text{ср}}^\gamma = \frac{1}{2}(H_1^\gamma + H_2^\gamma),$$

$\zeta_{\text{ср}} = \frac{1}{2}(\zeta_1 + \zeta_2)$ (ζ_1 и ζ_2 — берутся с карты высот геоида),

$R = R(B_{\text{ср}}, A_{\text{ср}})$ выбирается из приведенной ниже таблицы.

Последний член формулы (III.4.5) можно вычислять по простой и практически точной формуле

$$\frac{d^3}{24R^2} \approx (d_0^3)_{\text{мм}}, \qquad \text{(III.4.5')}$$

где $d_0 = \dfrac{d_{\text{км}}}{10_{\text{км}}}$.

Таблица величин $R_{км} = R_{км}\,(B_{ср},\ A_{ср})$

x, км	B	A: 0° 180 360	10° 170 190 350	20° 160 200 340	30° 150 210 330	40° 140 220 320	50° 130 230 310	60° 120 240 300	70° 110 250 290	80° 100 260 280	90° 270
0	0°	6336	6337	6341	6346	6353	6361	6367	6373	6377	6378
1100	10	38	39	43	48	54	62	67	73	77	78
2210	20	43	44	47	52	59	66	72	77	80	81
3320	30	52	54	57	61	66	72	76	80	83	84
4430	40	62	62	64	68	71	76	79	83	85	87
5540	50	73	74	75	78	81	83	86	89	90	91
6650	60	84	84	85	86	88	90	92	93	93	94
7770	70	92	93	93	94	95	96	97	98	98	98
8885	80	98	97	98	97	98	98	98	98	98	99
10 000	90	6400	6400	6400	6400	6400	6400	6400	6400	6400	6400

г. Редуцирование расстояния, измеренного подвесными мерными приборами.

$$S = s_0 - s_0\frac{H_{ср}}{R+H_{ср}} + \frac{\vartheta''_{12}}{\rho''}\left(H_0^{\gamma} - H_1^{\gamma}\right) + \frac{\vartheta''_{21}}{\rho''}\left(H_0^{\gamma} - H_2^{\gamma}\right), \qquad \text{(III.4.6)}$$

где s_0 — сумма горизонтальных проложений всех пролетов, $H_{ср} = H_0^{\gamma} + \zeta_{ср}$ (о величине $\zeta_{ср}$ см. пункт «в, 3»), H_0^{γ} — среднее арифметическое значение нормальных высот всех целиков базисных штативов (но не $(H_1^{\gamma} + H_2^{\gamma})/2$!). О величине ϑ_{kl} см. пункт «в, 1».

д. Вычисление азимута Лапласа (геодезического азимута) A_{12}.

$$A_{12} = \alpha_{12} + (L_1 - \lambda_1)\sin\varphi_1 + v_{12}^{u} + v_{12}^{H}, \qquad \text{(III.4.7)}$$

где α — астрономический азимут, λ — астрономическая долгота, φ — астрономическая широта, L —геодезическая долгота; v^{u} и v^{H} — см. пункты «а» и «б».

е. Поправка в направление за переход к геодезической линии.

$$v_{12}^{r} = 0{,}000003\cos^2 B_1 \sin 2A_{12}\cdot s_{км}^2 \text{ (в секундах).}$$

III.4.6. О способах уравнивания

Для уравнивания геодезических сетей наиболее широко применяются основные способы: коррелатный и параметрический. В некоторых случаях находит применение коррелатный способ с дополнительными неизвестными (например для уравнивания системы рядов триангуляции 2 и низших классов).

Небольшие фигуры триангуляции, включающие два-три определяемых пункта, как правило, уравнивают коррелатным способом с той или иной его модификацией и с отысканием поправок в углы. В частности, ряд триангуляции выгоднее всего уравнивать двухгрупповым коррелатным способом Крюгера — Урмаева.

Большие сети триангуляции наиболее целесообразно уравнивать параметрическим способом поправок координат. Этим же способом проще всего уравниваются обратные засечки. Для вставки одиночных пунктов эффективно применение модифицированного способа Померанцева.

Уравнивание линейно-угловой триангуляции проще всего и выгоднее выполнять параметрическим способом поправок координат. Этот же способ оказывается наиболее экономичным для уравнивания больших сетей трилатерации, а также комбинированной сети. Однако отдельные фигуры трилатерации (геодезический четырехугольник, центральная система, вставка в угол нескольких пунктов), а также ряд трилатерации лучше уравнивать коррелатным способом.

Для применения ЭВМ наиболее эффективны параметрические алгоритмы, основанные на методе приближений.

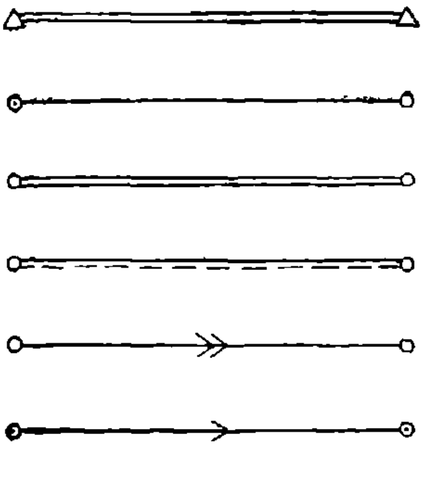
Как видно, универсальных способов уравнивания, пригодных на все случаи жизни, не существует. В конкретных случаях практики могут оказаться целесообразными различные способы уравнивания. Со всеми этими способами квалифицированный геодезист должен быть хорошо знаком. При этом для сравнительной оценки тех или иных способов уравнивания недостаточно учитывать только число возникающих нормальных уравнений, но необходимо иметь в виду весь комплекс уравнительных и окончательных вычислений, включающих контрольные действия и подготовку данных для каталога. Иногда это обстоятельство заставляет переоценивать достоинства сравниваемых способов.

Что касается вопроса: что следует включать в уравнивание сети в качестве результатов измерений — направления или углы, то в большинстве случаев здесь можно руководствоваться лишь соображениями удобства и экономичности. Результаты же уравнивания в том и другом случае всегда будут практически равноценными.

Б. ВИДЫ УСЛОВИЙ (УСЛОВНЫХ УРАВНЕНИЙ), ВОЗНИКАЮЩИХ В ТРИАНГУЛЯЦИИ [1, 3, 4, 6]

III.4.7. Обозначения (на плоскости)

На рисунках:



— жесткие исходные пункты и стороны;

— определяемые пункты и стороны;

— измеренная жесткая базисная сторона;

— измеренная нежесткая сторона;

— измеренный жесткий дирекционный угол;

— измеренный нежесткий дирекционный угол;

— одностороннее направление по стороне.

В формулах:

X, Y — координаты жестких исходных пунктов;
x, y — уравненные координаты определяемых пунктов;
x^0, y^0 — предварительные координаты;
δx, δy — поправки координат;
D — длина жесткой базисной стороны;
d — измеренное нежесткое значение стороны;
v_d — поправка измеренной стороны;
$d+v_d=d'$ — уравненное значение стороны;
T — жесткий дирекционный угол;
t — измеренное нежесткое значение дирекционного угла;
v_t — поправка дирекционного угла;
$t+v_t=t'$ — уравненное значение дирекционного угла;
M_{kl} — измеренное значение направления;
v_{kl} — поправка направления;
$M'_{kl}=M_{kl}+v_{kl}$ — уравненное значение направления;
β_i — измеренное значение угла;
v_i — поправка в угол;
$\beta_i+v_i=\beta'_i$ — уравненное значение угла.

III.4.8. Угловые условия

Угловыми называют условия, возникающие непосредственно между углами или направлениями в линейной форме и с коэффициентами ± 1 и нулевыми, иными словами, в виде алгебраической суммы некоторых измеренных величин и свободного члена.

После устранения невязок угловых условий любой дирекционный угол в сети может быть получен однозначно, независимо от пути его передачи от исходных дирекционных углов. Однако невязки при вычислении длин сторон и координат пунктов останутся; для их устранения необходимо учесть еще синусные условия.

Напомним общий порядок получения условного уравнения поправок.

а. Составляют условное уравнение связи в форме

$$\varphi_j(\beta'_1, \ldots, \beta')=0. \qquad \text{(III.4.8)}$$

Заметим, что эта форма условного уравнения связи (в правой части — нуль) обязательна во всех случаях.

б. Вычисляют невязку по формуле

$$\varphi_j(\beta_1, \ldots, \beta_n)=W_j. \qquad \text{(III.4.9)}$$

Левая часть равенства (III.4.9) имеет точно такой же вид, как и в равенстве (III.4.8), если вместо β' подставить в нее β. Поэтому для сокращения хода рассуждений условные уравнения будем представлять, как правило, сразу в виде (III.4.9).

в. Получают коэффициенты условного уравнения поправок (т. е. условного уравнения связи, приведенного к линейному виду) по формуле

$$a_{ij}=\frac{\partial W_j}{\partial \beta_i}, \quad (i=1, \ldots, n). \qquad \text{(III.4.10)}$$

г. Выписывают в таблицу коэффициентов коэффициенты и свободные члены (невязки) условных уравнений поправок, т. е. равенств

$$a_{1j}v_1 + \ldots + a_{nj}v_n + W_j = 0 \quad (j = 1, \ldots, r), \qquad (III.4.11)$$

где r — число уравнений.

д. Далее действуют в соответствии с общим порядком уравнивания коррелатным способом (см. раздел II).

Как уже указывалось выше, в частности для угловых условий, левая часть равенства (III.4.9) всегда является алгебраической суммой слагаемых с коэффициентами ± 1 и нулевыми.

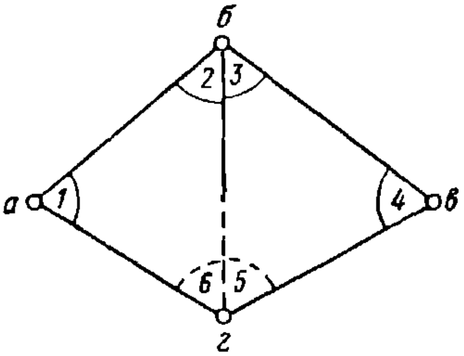


Рис. III.4.1

Отметим следующее практически важное обстоятельство: коэффициенты перед поправками v_i (± 1 и нули) в уравнениях поправок угловых условий будут те же, что и перед величинами β_i в (III.4.9). Это обстоятельство существенно облегчает заполнение таблицы коэффициентов (в отношении угловых условий): для этого не требуется составлять равенства типа (III.4.11).

Рассмотрим виды угловых условий, возникающих в триангуляции при уравнивании углов.

Условия фигур. Условие фигуры возникает в многоугольнике и соответствует формуле для суммы его внутренних углов: $\sum_{i=1}^{g} \beta_i' = 180°(g-2)$ или согласно (III.4.9)

$$\sum_{i=1}^{g} \beta_i - (g-2)\,180° = W, \qquad (III.4.12)$$

где g — число внутренних углов многоугольника.

Условное уравнение поправок имеет вид

$$\sum_{i=1}^{g} v_i + W = 0, \qquad (III.4.12')$$

где v_i — поправки к величинам β_i.

Практически приходится иметь дело только с треугольниками, и равенства (III.4.12) и (III.4.12′) принимают вид

$$\beta_1 + \beta_2 + \beta_3 - 180° = W \qquad (III.4.13)$$

и

$$v_1 + v_2 + v_3 + W = 0. \qquad (III.4.13')$$

Условие фигуры возникает и в случае, показанном на рис. III.4.1, когда имеется одностороннее направление, В этой фигуре измерялся угол β_{5+6}, а углы β_5 и β_6 по отдельности не измерялись. Поэтому, формально рассуждая, следовало бы учитывать такое условное уравнение:

$$\beta_1+\beta_2+\beta_3+\beta_4+\beta_{5+6}-360^\circ=W.$$

Однако такое уравнение усложнило бы уравнивание. Поэтому при наличии одностороннего направления рекомендуется взаимообратное, неотнаблюденное направление вычислить по имеющимся данным и затем включать в уравнивание наряду с измеренными.

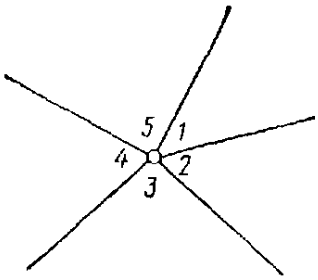


Рис. III.4.2

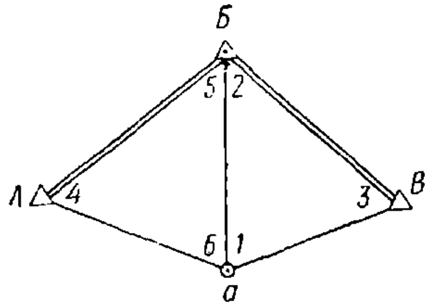


Рис. III.4.3

Для случая, показанного на рис. III.4.1, порядок действий для получения вычисленного направления $M_{гб}$ будет следующий [8]:

1) вычисляют значения

$$\beta_5^0=180^\circ-\beta_3-\beta_4$$

$$\beta_6^0=180^\circ-\beta_1-\beta_2;$$

2) получают два значения направления с пункта *г* на пункт *б*:

$$M_{гб}^{(')}=M_{га}+\beta_6^0 \quad \text{и} \quad M_{гб}^{('')}=M_{гв}-\beta_5^0;$$

3) в качестве измеренного значения направления $M_{гб}$ принимают среднее, т. е.

$$M_{гб}=\frac{1}{2}\left(M_{гб}^{(')}+M_{гб}^{('')}\right).$$

В последующем изложении под условиями фигур будем понимать только условия треугольников.

Включение в уравнивание вычисленного косвенно направления $M_{гб}$ в качестве измеренного незначительно нарушает строгость уравнивания (не больше, чем переход к углам от направлений), зато упрощает вычисления и повышает точность ориентирования стороны *гб*.

Условие горизонта. Это условие возникает на тех пунктах, на которых включают в уравнивание все углы, образованные всеми парами смежных направлений. Как видно на рис. III.4.2, в этом случае сумма углов вокруг пункта после уравнивания должна быть равна 360°. Особенностью условия горизонта является то, что и сумма измеренных значений углов также равна точно 360°, т. е. невязки этих условий всегда равны нулю. В этой особенности условия горизонта нетрудно убедиться, вычислив углы из любого ряда направлений.

Согласно рис. III.4.2, для условия горизонта можно написать

$$\beta_1+\beta_2+\beta_3+\beta_4+\beta_5-360^\circ=0 \qquad (III.4.14)$$

и

$$v_1+v_2+v_3+v_4+v_5=0. \qquad (III.4.14')$$

Заметим, что при уравнивании направлений условия горизонта не возникают

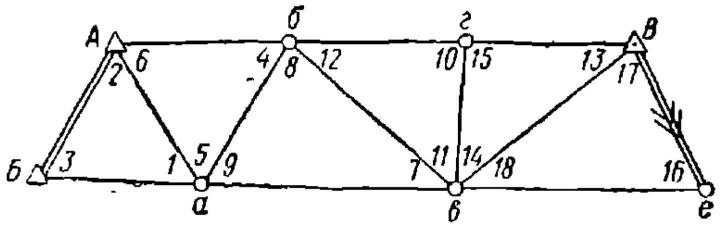


Рис. III.4.4

Условия жестких дирекционных углов. Такие условия возникают в двух случаях (рис. III.4.3 и III.4.4):

$$1)\quad T_{БВ}+\beta_2+\beta_5-T_{БА}=W, \qquad (III.4.15)$$

$$v_2+v_5+W=0; \qquad (III.4.15')$$

$$2)\quad T_{АБ}-\beta_2\pm180^\circ+\beta_5\pm180^\circ-\beta_8\pm180^\circ+$$

$$+\beta_{11}+\beta_{14}\pm180^\circ-\beta_{17}-T_{Бе}=W, \qquad (III.4.16)$$

$$-v_2+v_5-v_8+v_{11}+v_{14}-v_{17}+W=0. \qquad (III.4.16')$$

Порядок нумерации углов в ряде треугольников следующий: первым в треугольнике нумеруют угол, лежащий против стороны, исходной для решения данного треугольника; последним — угол, лежащий против стороны, исходной для следующего треугольника ряда. Указанные углы и противолежащие им стороны называют связующими. Остальные углы и противолежащие им стороны называются промежуточными.

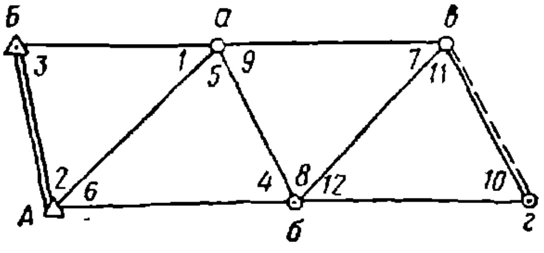


Рис. III.4.5

В условие дирекционных углов следует включать промежуточные углы.

Условие нежестких дирекционных углов. Это условие возникает в случае, если в сети имеются измеренные дирекционные углы, подлежащие исправлению, ввиду их недостаточной точности. Для случая, показанного на рис. III.4.5, имеем

$$T_{АБ}+\beta_2\pm180^\circ-\beta_5\pm180^\circ+\beta_8\pm180^\circ-\beta_{11}-t_{вг}=W \quad (III.4.17)$$