Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный университет геосистем и технологий»
(СГУГиТ)

А. С. Горилько

СОЗДАНИЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ОСНОВЫ НА ПРОМПЛОЩАДКАХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Методические указания по изучению междисциплинарного курса для обучающихся по специальности 21.02.20 Прикладная геодезия – направленность Прикладная геодезия
(по программе подготовки специалистов среднего звена)

Новосибирск
СГУГиТ
2026

Файл проверен

УДК 528.48 (075)

Г69

Рецензенты: Кожевников И. Е. преподаватель высшей квалификационной категории общепрофессиональных дисциплин НТГиК СГУГиТ.

Г69 Создание геодезической основы на промплощадках энергетических объектов [Текст]: метод. указания по изучению междисциплинарного курса / А. С. Горилько. – Новосибирск НТГиК, 2026 - 34 с.

Методические указания подготовлены преподавателем общепрофессиональных дисциплин НТГиК СГУГиТ А. С. Горилько.

В методических указаниях представлены лабораторные работы на тему проектирования и создания планово-высотных геодезических сетей на промышленных площадках объектов энергетики.

Методические указания предназначены для обучающихся по направлению 21.02.20 Прикладная геодезия – направленность Прикладная геодезия (по программе подготовки специалистов среднего звена).

Рекомендовано к изданию цикловой комиссией «Прикладная геодезия» НТГиК СГУГиТ.

Печатается по решению административно-методического совета НТГиК СГУГиТ

ISBN

© СГУГиТ, 2026

Файл проверен

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 4
Лабораторная работа № 1. Априорная оценка точности планового положения пунктов, определенных по результатам линейно-угловых измерений 6
Лабораторная работа № 2. Создание плановой геодезической основы наземными средствами и методами геодезических измерений 13
Лабораторная работа № 3. Создание высотной основы тригонометрическим методом. Оценка точности высотных определений 22
Библиографический список 30
Вопросы для самоконтроля 31
Приложение 1. Данные для выполнения предрасчета точности положения наиболее слабого места в ходе полигонометрии 32
Приложение 2. Значения расстояний между исходными пунктами обратной линейно-угловой засечки для расчета величины СКО определяемого пункта 33

Файл проверен

ВВЕДЕНИЕ

Россия является мировым лидером по строительству объектов атомной энергетики. Одним из перспективных направлений в данной отрасли является строительство АЭС с реактором на быстрых нейтронах. Работа таких реакторов подразумевает замкнутый ядерный цикл, то есть цикличное использование высокорадиоактивного ядерного топлива. В связи с этим повышается риск опасности, если не контролировать величины горизонтальных и вертикальных перемещений земной поверхности промышленной площадки и самих зданий и сооружений, размещенных на ней. Перемещения имеют место быть из-за массивной техногенной нагрузки на грунтовое основание промышленной площадки. Гарантировать высокую точность определения перемещений возможно только при создании высокоточной геодезической основы (сети пунктов, определенных в единой системе координат и высот) и должной квалификации исполнителей геодезических работ.

Безопасность труда разных специалистов и работников, трудящихся на территории возводимых и эксплуатируемых АЭС напрямую зависит от уровня точности определения величин деформационных процессов в горизонтальной и вертикальной плоскостях. В случае если цикличные результаты высокоточных геодезических измерений показали факт наличия деформационных процессов, величины которых превышают установленные допуски, то принимаются соответствующие инженерные решения. Без геодезической основы, созданной должным образом выполнить такие задачи не представляется возможным.

В связи с этим, студентам, осваиваемым специальность «Прикладная геодезия» необходимо изучать вопросы по проектированию и созданию

Файл проверен

высокоточной геодезической планово-высотной основы на площадках энергетических объектов.

Данные методические указания разработаны с целью прохождения обучающимися учебного курса по дисциплине МДК 04.02. Инженерно-геодезические работы при проектировании зданий и инженерных сооружений.

Файл проверен

Лабораторная работа № 1
АПРИОРНАЯ ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ПЛАНОВОГО ПОЛОЖЕНИЯ ПУНКТОВ, ОПРЕДЕЛЕННЫХ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЛИНЕЙНО-УГЛОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Цель работы: выполнить предварительный расчет точности планового положения пунктов, определенных по результатам линейно-угловых измерений.

Требуемое оборудование и принадлежности: инженерный калькулятор или персональный компьютер с установленной программой MS Ecxel, 2 листа белой бумаги формата А4, карандаш, линейка.

Краткие теоретические сведения

Геодезическая основа на промышленных площадках энергетических объектов для решения ряда инженерных задач в большинстве случаев может создаваться высокоточными тахеометрами [3,5]. В настоящих методических указаниях рассматриваются следующие методы создания геодезической основы с применением тахеометров:

– высокоточные полигонометрические ходы с короткими визирными лучами;

– прямые и обратные линейно-угловые засечки.

Полигонометрические ходы представляют собой ломаную линию, построенную также, как и теодолитный ход, однако, выполняются с гораздо более высокой точностью измерения углов и расстояний [1].

Прямые и обратные линейно-угловые засечки представляют собой линейно-угловые геодезические построения, образующие замкнутые

Файл проверен

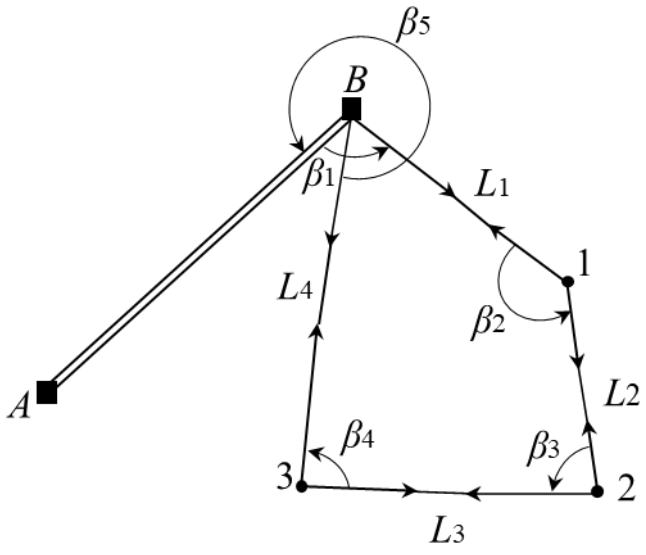
геометрические фигуры [2]. В случае, если измерения не представляют замкнутой фигуры, то такие измерения являются бесконтрольными (висячими), что в большинстве случаев недопустимо для геодезической основы на площадках строительства объектов энергетики [4].

Перечисленные выше методы создания геодезической основы, применительно к промышленным площадкам энергетических объектов, особенно атомных электростанций применяются для создания плановой основы.

В лабораторной работе № 1 рассмотрим вопросы проектирования высокоточных плановых геодезических сетей.

Порядок выполнения работы

1. Поскольку промышленные площадки объектов энергетики зачастую являются площадными объектами, то целесообразно прокладывать замкнутые полигонометрические ходы (рис.1).



Файл проверен

Рис.1. Пример схемы полигонометрического хода

Обратим внимание на схему линейно-углового хода, представленную на рис.1. Видим, что данная схема предполагает измерение углов и расстояний. Следовательно, предварительную точность положения определяемых пунктов на этапе проектирования сети мы можем рассчитать на основе данных, представленных в паспорте тахеометра, без учета внешних факторов и некоторых других.

Для достижения требуемого уровня точности измерений, на промышленных площадках объектов энергетики применяются роботизированные тахеометры с характеристиками точности измерения расстояний m_L = 0,5 – 2,0 мм и углов – m_β = 1,0" [5].

В ходе выполнения работы выполним предварительный расчет СКО наиболее слабого места в полигонометрическом ходе. Данные по вариантам для расчета приведены в приложении 1. Для всех вариантов применяются паспортные характеристики тахеометра (m_L = 0,5 мм, углов m_β = 1,0")

Для расчета используем приближенную формулу [1,4]

$$m = \sqrt{\left[m_L^2 \right] + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} \cdot L^2 \cdot \frac{n+3}{12}} \qquad (1)$$

где m_L – СКО измерения расстояния, m_β – СКО измерения угла, ρ – число секунд в одном радиане, L – длина хода, n – количество сторон в ходе.

При выполнении измерений только в прямом направлении, наибольшая величина СКО (наиболее слабого пункта в ходе) будет сосредоточена в конце хода. Для повышения точности результатов

Файл проверен

измерений полигонометрических ход прокладывается в обратном направлении. В таком случае наиболее слабый пункт будет в середине хода, величина СКО которого примет значение, рассчитанное согласно формуле

$$m_{итог} = \frac{m}{\sqrt{2}} \qquad (2)$$

где m – СКО положения наиболее слабого пункта при выполнении только прямого хода.

Согласно требованиям нормативных документов СКО (m) планового определения положения пунктов геодезической основы не должна превышать 5,0 мм. После выполненного расчета следует написать вывод о том, превышен установленный допуск или нет.

2. Далее в ходе работы рассмотрим случай, когда неизвестный пункт определяется в плане методом обратной линейно-угловой засечки. В данной засечке фактор геометрии (формы треугольника) влияет на величину СКО положения определяемого пункта. Обратная линейно-угловая засечка в разных случаях приведена на рис. 2.

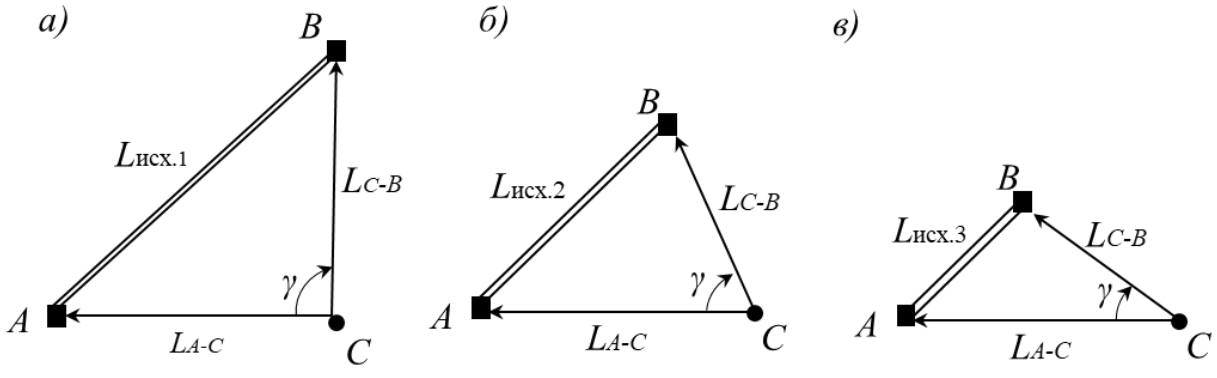


Рис.2. Схема обратной линейно-угловой засечки
с разным значением измеряемого угла:
а) при $\gamma \approx 90°$; б) при $\gamma \approx 60°$; в) $\gamma \leq 30°$

Файл проверен

Выполним чертеж засечки в масштабе 1:1000 (1 см – 10 м) в трех случаях как показано на рис.2. Значения $L_{\text{исх.1}}$, $L_{\text{исх.2}}$, $L_{\text{исх.3}}$ по вариантам приведены в приложении 2. При выполнении чертежа придерживаться следующих требований:

– в первом случае пункт C на чертеже разместить так, чтоб измерения горизонтальных направлений на пункт A и B образовывали угол близкий к значению $90°$;

– во втором случае пункт C на чертеже размесить так, чтоб измерения горизонтальных направлений на пункт A и B образовывали угол близкий к значению $60°$;

– во третьем случае пункт C на чертеже размесить так, чтоб измерения горизонтальных направлений на пункт A и B образовывали угол примерно равный или менее $30°$.

После выполнения чертежей трех схем обратных линейно-угловых засечек выполнить расчет величины СКО во всех трех случаях по формуле [1]

$$m = \sqrt{\frac{1}{n}\frac{L_{\text{мед.}}}{L_{\text{исх.}}}(m_L^2 + L_{\text{исх.}}^2 \frac{m_\beta^2}{\rho^2})} \qquad (3)$$

где $L_{\text{мед.}}$ – среднее значение измеренных расстояний от определяемого пункта к каждому из исходных, $L_{\text{исх.}}$ – расстояние между исходными пунктами в выполняемой засечке, n – количество исходных пунктов (в трех рассматриваемых случаях их значение равно 2).

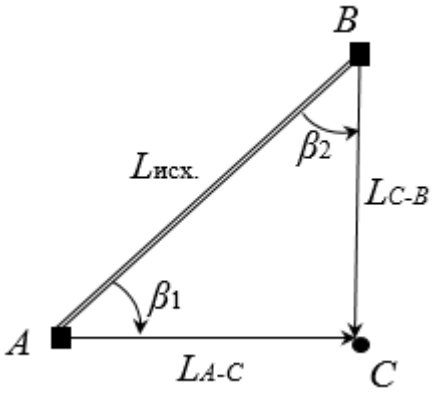
Запроектированные расстояния на чертеже каждой засечки от определяемого пункта до исходных измеряются по линейке и определяются

Файл проверен

в соответствии с заданным масштабом 1:1000. Значение $L_{\text{мед.}}$ является средним арифметическим этих двух расстояний в каждой засечке.

По результатам выполненного расчета подготовить вывод о рекомендуемой геометрии обратной линейно-угловой засечки с целью достижения наивысшей точности определения координат пункта С. Также подготовить вывод о том, в каких из трех рассматриваемых случаев величина СКО положения пункта *С* является допустимой (допустимая величина СКО – 5,0 мм) [5] .

3. Кроме обратных засечек, на промышленных площадках могут применятся прямые линейно-угловые засечки (рис.3).



4.

Рис.3. Схема прямой линейно-угловой засечки

Рассматриваемая засечка также может называться биполярной, поскольку измерения выполнятся с двух концов базисной линии $L_{\text{исх.}}$.

Чертеж засечки в масштабе 1:1000 необходимо выполнить таким образом, чтобы величины измеряемых углов принимали значения примерно 45°.

После выполнения чертежа, по линейке измерить длины расстояний L_{A-B} и L_{B-C}, рассчитать их значение в соответствии с масштабом 1:1000. Выполнить предварительную оценку точности поочередно в двух случаях:

Файл проверен

– при измерениях с пункта A;

– при измерениях с пункта B.

Расчеты произвести по формуле [4]

$$m_{\text{пол.зас.}} = \sqrt{m_L^2 + L^2 \frac{m_\beta^2}{\rho^2}} \qquad (4)$$

Представленная выше формула предполагает расчет СКО положения определяемого пункта при выполнении измерений с одного из двух концов базиса. На рис. 3 видим, что измерения выполняются с двух концов базисной линии. В таком случае наличие избыточных измерений позволяют выполнить геометрический контроль, поскольку сформирована замкнутая фигура. Более того, положения искомого пункта в таком случае определяется с большей точностью и будет рассчитано по формуле [1]

$$m_{\text{бипол.зас.}} = \frac{m_{\text{пол.зас.}}}{\sqrt{2}} \qquad (5)$$

По результатам выполненных расчетов подготовить вывод о величине СКО положения определяемого пункта и сравнить полученные данные с допустимым значением равным 5,0 мм [3,5].

Файл проверен

Лабораторная работа № 2
СОЗДАНИЕ ПЛАНОВОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ОСНОВЫ НАЗЕМНЫМИ СРЕДСТВАМИ И МЕТОДАМИ ИЗМЕРЕНИЙ

Цель работы: научится создавать плановую геодезическую основу с применением тахеометра.

Требуемое оборудование: тахеометр, штативы в количестве 3 шт., два комплекта системы «трегер-адаптер-призменный отражатель», рулетка, полевой журнал.

Краткие теоретические сведения

При использовании тахеометра для создания геодезической основы измеряются горизонтальные и вертикальные углы, а также наклонные расстояния.

В пройденной лабораторной работе №1 уже упоминалось, что геодезическая основа может быть создана разными методами, среди которых: ходы полигонометрии, прямые и обратные линейно-угловые засечки.

Ход полигонометрии предполагает большее количество измерений чем прямые или обратные засечки, поэтому является достаточно трудоемким процессом для выполнения на учебных занятиях.

В рассматриваемой лабораторной работе № 2 представляется к вниманию прямая линейно-угловая (биполярная) засечка. Такая засечка предложена к изучению поскольку помимо плановой составляющей содержит в себе высотную составляющую, выполненную методом тригонометрического нивелирования в двух случаях:

Файл проверен

– двустороннее (между исходными пунктами засечки);

– одностороннее (при измерениях на определяемый пункт).

Из результатов выполнения биполярной засечки будут складываться результаты тригонометрического нивелирования, которые отведены на лабораторную работу № 3.

В рамках лабораторной работы № 2 изучаются этапы создания плановой основы с применением тахеометра, но как уже становится известно тема тригонометрического нивелирования все же затрагивается на этапе изучения плановой составляющей биполярной засечки. Это обусловлено тем, что для расчета координат определяемого пункта в засечке необходимо знать горизонтальные проложения от каждого исходного пункта до определяемого.

Горизонтальное проложение представляет собой проекцию наклонного измеренного тахеометром расстояния между исходным пунктом и пунктом наведения (определяющим пунктом). Вычисление горизонтального проложение возможно только при измерении вертикальных углов или зенитных расстояний (о чем будет сообщено в следующей работе). Эти данные являются элементами, измеряемыми при выполнении тригонометрического нивелирования. Следовательно, следует сделать вывод что плановая и высотная составляющие геодезических сетей, создаваемые тахеометрами взаимосвязаны и представляют собой единый рабочий процесс [1].

1. Рассмотрим прямые линейно-угловые засечки.

В настоящее время активно применяются полярные засечки (рис.4)

Файл проверен

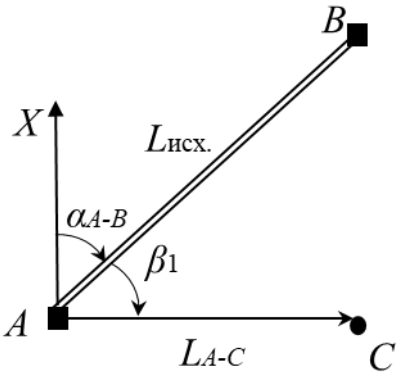


Рис.4. Схема прямой линейно-угловой (полярной) засечки

При выполнении такой засечки, тахеометр устанавливается в рабочее положение над пунктом A, ориентируется на пункт B и измеряется горизонтальный угол β_1 и наклонное расстояние L_{A-C} до определяемого пункта C. Данный рисунок визуализирует измерения в горизонтальной плоскости и не отображает информации, что помимо горизонтального угла и наклонного расстояния также измеряется вертикальный угол наклона υ или зенитное расстояние Zr (рис.5).

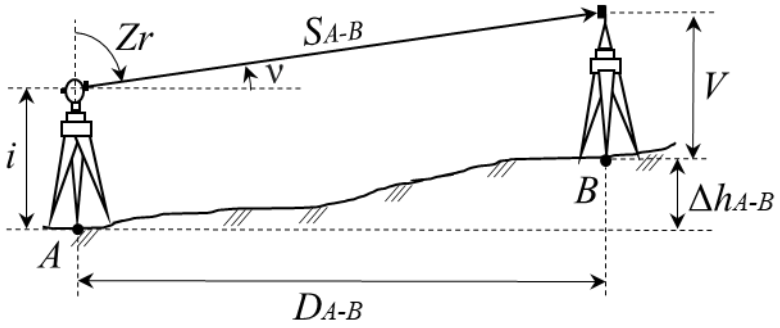


Рис.5. Схема линейно-угловых измерений в вертикальной плоскости

Как видно из рис.5, горизонтальное проложение D_{A-B} является косвенно измеренной величиной и может быть вычислена по следующим формулам

Файл проверен

$$D_{A-B} = L_{A-B} \cdot cos\upsilon \quad (6)$$

$$D_{A-B} = L_{A-B} \cdot sinZr \quad (7)$$

где υ-угол наклона Zr- зенитное расстояние L_{A-C} - наклонное расстояние.

Для расчета плановых координат X, Y помимо горизонтального проложения, необходимо значение дирекционного угла до направления на определяемый пункт [1,4].

При выполнении полярной засечки (рис.4) дирекционный угол α_{A-C} рассчитывается по формуле

$$\alpha_{A-C} = \alpha_{A-B} + \beta_1 \quad (8)$$

Разность координат (приращения координат) между точкой стояния тахеометра и точкой наведения (визирной цели) вычисляется по формулам

$$\Delta X_{A-C} = D_{A-C} \cdot cos\alpha_{A-C} \quad (9)$$

$$\Delta Y_{A-C} = D_{A-C} \cdot sin\alpha_{A-C} \quad (10)$$

Координаты определяемого пункта вычисляются по формулам

$$X_C = X_A + \Delta X_{A-C} \quad (11)$$

$$Y_C = Y_A + \Delta Y_{A-C} \quad (12)$$

Файл проверен

Обратим внимание, что полярная засечка, представленная на рис.4 не имеет геометрического контроля при определении координат пункта C и поэтому является висячим геодезическим построением [1].

Для повышения точности и осуществления геометрического контроля определения координат пункта C засечка может быть выполнена поочередно с двух станций тахеометра. В таком случае она будет являться биполярной, поскольку измерения осуществляются с двух сторон базиса $A-B$. Схема биполярной засечки приведена на рис.6.

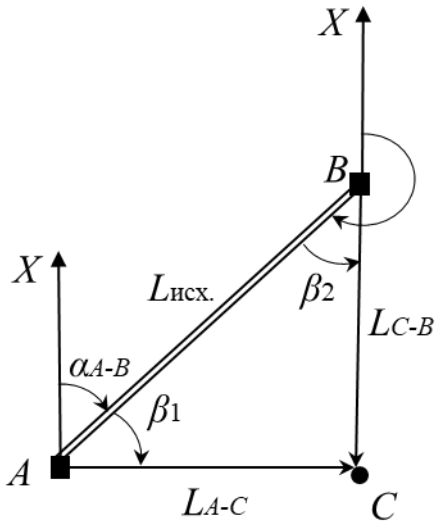


Рис.6. Схема биполярной засечки

Выше было рассмотрено как определяются координаты пункта C при выполнении измерений с пункта A. Рассмотрим порядок расчета координат при выполнении измерения с пункта B.

Исходя из рис.6 дирекционный угол α_{B-C} будет определятся по формуле

$$\alpha_{B-C} = \alpha_{B-A} - \beta_2 \qquad (13)$$

Файл проверен

Для расчета приращений координат между пунктом B и C горизонтальное проложение будет рассчитано по формуле

$$D_{B-C} = L_{C-B} \cdot cos\upsilon \tag{14}$$

Сами приращения координат соответственно будут определены по формулам

$$\Delta X_{B-C} = D_{B-C} \cdot cos\alpha_{B-C} \tag{15}$$

$$\Delta Y_{B-C} = D_{B-C} \cdot sin\alpha_{B-C} \tag{16}$$

Тогда координаты определяемого пункта C будут рассчитаны согласно выражению

$$X_C = X_B + \Delta X_{B-C} \tag{17}$$

$$Y_C = Y_B + \Delta Y_{B-C} \tag{18}$$

Теоретически, значения координат пункта C, определенные при измерениях с пункта A и с пункта B должны совпадать, однако этого не происходит из-за ошибок измерений, источниками которых являются разные факторы: ошибки исходных данных, паспортная точность тахеометра, квалификация исполнителя работ, внешние факторы и другие. За итоговый результат принимается среднее значение координат, при условии, что оба полученных результата координатных определений пункта C не различаются между собой более чем на 2,0 – 3,0 мм[4] .

Файл проверен

Порядок выполнения работы

На учебной площадке тахеометр устанавливается в рабочее положение над пунктом. Центрирование выполняется с точностью не хуже 1,0 мм. Такая точность гарантируется при использовании оптических центриров. При использовании лазерных центриров обеспечить установку над пунктом с точностью 1,0 мм достаточно сложно или практически невозможно из-за размера лазерного пятна. После выполнения установки прибора в рабочее положение, измеряется его высота [1].

Визирная (ориентирная) цель устанавливается на смежном исходном ориентирном пункте на штативе с установкой на нем системы «трегер-адаптер-призменный отражатель». Измеряется высота ориентирной визирной цели от пункта до геометрического центра визирной цели.

Визирная (определяемая) цель устанавливается также в отвесное положение над определяемым пунктом на штативе с установкой системы «трегер-адаптер-призменный отражатель». Измеряется высота определяемой визирной цели.

Измерения выполняются в следующей последовательности с фиксированием результатов в полевой журнал, форма которого разработана преподавателями техникума.

Отсчеты по горизонтальному и вертикальному лимбам, а также наклонные расстояния берутся и записываются в следующей последовательности наведений:

– наведение на визирную (ориентирную) цель при «круге лево» (КЛ);

– наведение на визирную (определяемую цель) при КЛ.

Далее поворачиваем зрительную трубу тахеометра через зенит, а алидаду на 180°, тем самым установив применяемый прибор в положение

Файл проверен

«круг право» (КП). После этого фиксируем отсчеты измерений в полевой журнал при соблюдении следующей последовательности действий:

– наведение на визирную (определяемую) цель при КП;

– наведение на визирную (ориентирную) цель при КП.

После выполнения вышеуказанного, прибор и система «трегер-адаптер-призменный отражатель» взаимно переставляются и аналогично, как указано выше выполняется второй этап измерений.

При заполнении полевого журнала в обязательном порядке, рассчитывается величина коллимационной ошибки C по формуле [1]

$$C = \frac{(\text{КЛ} - \text{КП}) \pm 180^\circ}{2} \tag{19}$$

где КЛ – отсчет по горизонтальному кругу при положении «круг лево», КП – отсчет по горизонтальному кругу при положении «круг право».

При измерении вертикальных углов наклона полным приемом также рассчитывается значение места нуля (отсчета по вертикальному кругу при горизонтальном положении зрительной трубы) [4]

$$M0 = \frac{(\text{КЛ} + \text{КП})}{2} \tag{20}$$

или при измерении зенитных расстояний рассчитывается место зенита (отсчет по вертикальному кругу при вертикальном положении зрительной трубы) согласно выражению [4]

Файл проверен

$$MZ = \frac{(КЛ + КП) - 360°}{2} \qquad (21)$$

где КЛ – отсчет вертикальному кругу при положении «круг лево», КП – отсчет по вертикальному кругу при положении «круг право».

При определении значения места нуля многие тахеометры зачастую выдают значения отсчетов при КЛ и КП с одинаковым знаком. В этом случае отсчету при КП следует присвоить знак, противоположный знаку отсчета при КЛ. В таком случае вышеуказанная формула расчета места нуля будет справедлива.

Зенитное расстояние Zr и вертикальный угол наклона взаимосвязаны, их связь характеризуется формулой [1]

$$Zr + \upsilon = 90° \qquad (22)$$

При выполнении тригонометрического нивелирования рекомендуется измерять зенитные расстояния Zr, поскольку при работе с ними не возникает вопросов со знаками отсчетов по вертикальному кругу.

Файл проверен

Лабораторная работа № 3
СОЗДАНИЕ ВЫСОТНОЙ ОСНОВЫ ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ВЫСОТНЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ

Цель работы: научится проектировать высотную геодезическую основу методом геометрического нивелирования нивелирования.

Требуемое оборудование: тахеометр, штатив, веха с призменным отражателем, пленочные отражатели, рулетка для измерения высоты тахеометра, полевой журнал.

Краткие теоретические сведения

В ходе изучения теоретических основ к лабораторной работе № 2 затронута тема тригонометрического нивелирования, поскольку данные измерения наряду с измерением горизонтальных углов являются единым рабочим процессом. Более того, согласно требованиям нормативно-технических документов, вертикальные углы измеряются одновременно с измерением горизонтальных углов. Измерение наклонного расстояния дополняют результаты угловых измерений и в таком случае при использовании тахеометра представляются данные, которых достаточно для определения планово-высотного положения искомого пункта.

Тригонометрическое нивелирование как уже было сказано раннее чаще всего может выполнятся в двух вариантах:

– одностороннее тригонометрическое нивелирование;

– двустороннее тригонометрическое нивелирование [1].

Одностороннее тригонометрическое нивелирование применяется при выполнении линейно-угловых засечек, особенно когда в работе участвуют

Файл проверен

настенные исходные геодезические знаки. Схема такого нивелирования приведена рис.7.

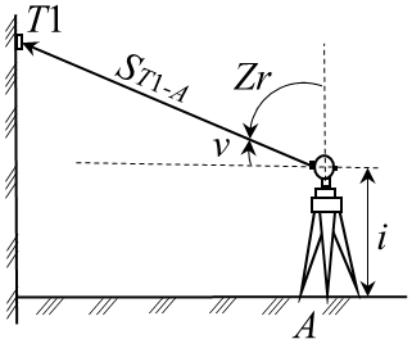


Рис.7. Схема одностороннего тригонометрического нивелирования

При выполнении представленной выше схемы нивелирования, горизонтальное проложение в случае измерения вертикального угла наклона будет рассчитано по формуле [1]

$$D_{A-T_1} = L_{A-T_1} \cdot cos\upsilon \qquad (23)$$

где υ – вертикальный угол наклона, измеренный тремя полными приемами.

В случае измерения зенитного расстояния, горизонтальное проложение будет рассчитано по формуле [1,4]

$$D_{A-T_1} = L_{A-T_1} \cdot \sin Zr \qquad (24)$$

где Zr – вертикальный угол наклона, измеренный тремя полными приемами.

Файл проверен

Превышение в таком случае (рис.7) будет рассчитано по формуле [1]

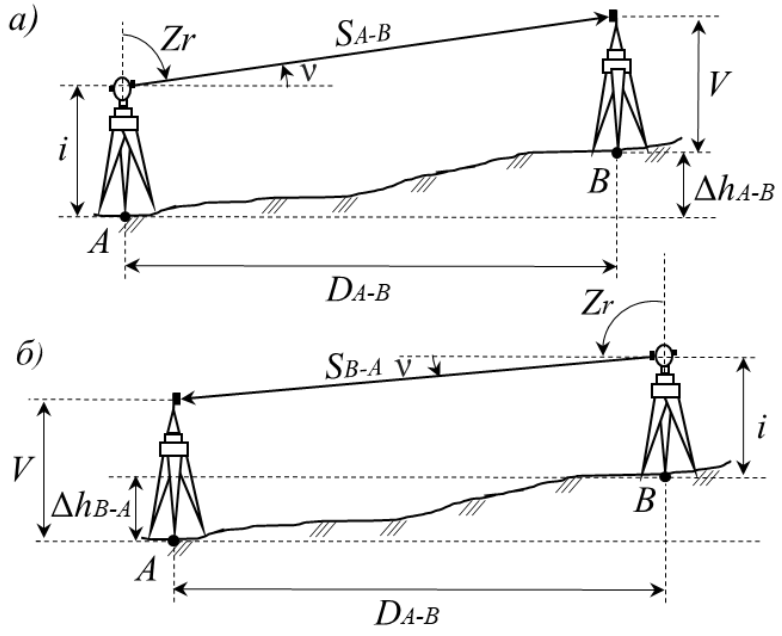
$$\Delta h_{A-T_1} = D_{A-T_1} \cdot tg\upsilon + i \qquad (25)$$

В представленной выше формуле не участвует величина высоты наведения, поскольку ее нет в данной схеме.

Величина СКО определения превышения может быть рассчитана по формуле [4]

$$m_{h\text{одност.}} = \sqrt{m_L^2 \cdot sin^2\upsilon + \frac{m_\upsilon^2}{\rho^2} L^2 cos^2\upsilon} \qquad (26)$$

Двустороннее тригонометрическое нивелирование отличается трудоёмкостью выполнения, но позволяет повысить точность определения превышения. Схема измерений в таком случае приведена на рис. 8.



Файл проверен

Рис.8. Схема двухстороннего тригонометрического нивелирования

Двустороннее тригонометрическое нивелирование заключается в том, что измерения выполняются в следующем порядке:

– установка прибора в рабочее положение над пунктом A и выполнение измерений на пункт B (рис.8, а);

– установка прибора в рабочее положение над пунктом B и выполнение измерений на пункт A (рис.8, б).

Превышение в прямом направлении по результатам нивелирования, согласно схеме измерений (рис.8, а) рассчитывается по формуле [1,4]

$$\Delta h_{A-B} = D_{A-B} \cdot tg\upsilon + i - V \tag{27}$$

Превышение в обратном направлении по результатам нивелирования, согласно схеме измерений (рис.8, б) рассчитывается по формуле [1]

$$\Delta h_{B-A} = D_{B-A} \cdot tg\upsilon + i - V \tag{28}$$

Итоговое превышение между пунктами А и В будет рассчитано по формуле

$$\left|\Delta h_{A-B(\text{итог})}\right| = \frac{\left|\Delta h_{A-B}\right| + \left|\Delta h_{B-C}\right|}{2} \tag{29}$$

Следует отметить, что знаки превышений в прямом и обратном направлениях взаимно противоположные. Итоговое значение превышения рассчитывается по модулю. При этом знак в итоговое превышение присваивается тот, который имеет превышение при ходе прямо.

Файл проверен

Немаловажным фактом является повышение точности за счет двустороннего нивелирования. Точность определения превышения рассчитывается по формуле [1]

$$m_{h\text{двуст.}} = \frac{m_{h\text{одност.}}}{\sqrt{2}} \qquad (30)$$

Достигнутый уровень точности высотных определений тригонометрическим нивелированием может быть достаточным для контроля величин перемещений в вертикальной плоскости для зданий и сооружений, не относящихся к классу особо опасных и технически сложных (допустимая ошибка определения перемещений в вертикальной плоскости – 5,0 мм). Для контроля перемещений в вертикальной плоскости при исследовании земляных сооружений допустимая ошибка составляет 10,0 мм [3,5].

Полученные результаты предрасчета точности следует сравнить с вышеуказанными допустимыми величинами ошибок определения высотных отметок и подготовить вывод о том, в каких случаях тригонометрическое нивелирование является уместным при работе на промышленных площадках объектов энергетики.

Порядок выполнения работы

1. Используя данные измерений (отсчеты по вертикальному кругу при КЛ и КП, а также наклонные расстояния, высоты прибора и наведения), выполненные в лабораторной работы № 2, произвести расчет превышений в следующей последовательности:

Файл проверен

– при установке тахеометра в рабочее положение на точке A и выполнении измерений на пункты B и C рассчитать превышения;

– при установке тахеометра в рабочее положение на точке B и выполнении измерений на пункты A и C также рассчитать превышения;

– рассчитать средние превышения при выполнении двустороннего тригонометрического нивелирования на базисной линии биполярной засечки.

– рассчитать отметку высоты пункта C в двух случаях по формулам[4]

$$H_C = H_A + \Delta h_{A-C} \quad (31)$$

$$H_C^{'} = H_B + \Delta h_{B-C} \quad (32)$$

2. В последующем выполнить расчет расхождений:

– между Δh_{A-B} и Δh_{B-A};

– между H_C и $H_C^{'}$.

Результаты расчетов расхождений между превышениями Δh_{A-B} и Δh_{B-A} представлены в табл.1.

Таблица 1

Результаты расхождений между превышениями Δh_{A-B} и Δh_{B-A}

Превышения, м	
Δh_{A-B}	Δh_{B-A}
Расхождение =	

Результаты расчетов расхождений между высотными отметками H_C и $H_C^{'}$ определяемого пункта C представлены в табл.2.

Файл проверен

Таблица 2

Результаты расхождений между высотными отметками H_C и $H_C^{'}$ определяемого пункта C

Отметки высот, м	
H_C	$H_C^{'}$
Расхождение =	

3. На завершающем этапе работы выполнить предрасчет точности определения превышений в случаях:

– при определении превышения Δh_{A-B};

– при определении превышения Δh_{B-A};

– при определении среднего значения превышения между пунктами A и B, полученное из двустороннего тригонометрического нивелирования;

– при определении превышения Δh_{A-C};

– при определении превышения Δh_{B-C};

Результаты расчета оценки точности разместить в табл. 3

Таблица 3

Результаты расчета оценки точности высотных определений

Параметр	Превышения, м				
	Δh_{A-B}	Δh_{B-A}	$\Delta h_{A-B(\text{сред.})}$	Δh_{A-C}	Δh_{B-C}
m_h мм					

Файл проверен

По итогам выполненной работы подготовить вывод о том, в каких случаях точность определения превышения соответствует требованиям нормативно-технических документов, регламентирующих производство тригонометрического нивелирования на промышленных площадках объектов энергетики.

СКО определения отметки пункта C может быть уменьшено на величину $\sqrt{2}$, поскольку имеются избыточные измерения (с двух исходных пунктов. Это будет корректно при условии, если расчетные значения – горизонтальные проложения и углы наклона от пункта A и B примерно одинаковые [1,4].

Файл проверен

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Авакян, В. В. Прикладная геодезия: Геодезическое обеспечение строительного производства – 3-е издание. / В. В. Авакян. – Москва : Академический проект, 2007. – 587 с. – Текст : непосредственный.

2. Горяинов, И. В. О наилучшей конфигурации обратной линейно-угловой засечки и необходимом количестве пунктов для достижения заданной точности. / И. В. Горяинов. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2016. – № 4. – С. 46–51.

3. ГОСТ 24846–2019. Грунты. Методы измерений деформаций оснований зданий и сооружений : межгосударственный стандарт. − Введ. 01.07.2020. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 22 с. – Текст : непосредственный.

4. Левчук, Г. П. Прикладная геодезия: Основные методы и принципы инженерно-геодезических работ : учебник для вузов / Г. П. Левчук, В. Е. Новак, В. Г. Конусов. – Москва : Недра, 1981. – 438 с. – Текст : непосредственный.

5. СТО СРО-Г6054295400007–2020 Геодезический мониторинг. Наблюдение за осадками и кренами зданий и сооружений. – Москва : Союзатомгео, 2020. – 160 с. – Текст : непосредственный.

Файл проверен

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Что является геодезической основой на промышленных площадках энергетических объектов?

2. Для чего необходимо и важно выполнять избыточные измерениях при создании плановых-высотных геодезических сетей?

3. Для контроля величин вертикальных перемещений каких сооружений может быть применено тригонометрическое нивелирование?

4. Определение термина горизонтальное проложение (с точки зрения геодезических измерений).

5. Какие геометрические факторы способствуют понижению точности определения координат в обратной линейно-угловой засечке?

6. Почему горизонтальные и вертикальные углы, а также наклонные расстояния измеряются исключительно одновременно?

7. Как рассчитывается превышение в двустороннем тригонометрическом нивелировании?

8. Что представляет собой априорная оценка точности положения пункта? Для чего выполняется предрасчет?

Файл проверен

Приложение 1

Данные для выполнения предрасчета точности положения наиболее слабого места в ходе полигонометрии.

№ варианта	Периметр хода L, м	Количество пунктов в ходе n
1	828,862	9
2	892,170	7
3	801,791	8
4	723,240	10
5	987,921	11
6	917,030	7
7	648,064	7
8	703,456	9
9	779,003	12
10	651,769	8
11	659,339	7
12	773,485	7
13	795,387	9
14	947,925	8
15	598,358	6
16	832,333	7
17	678,378	8
18	637,167	7
19	589,361	6
20	904,755	9
21	599,673	7
22	873,222	8
23	768,110	6
24	584,638	5
25	888,47	9
26	587,108	6
27	753,631	9
28	739,208	9
29	805,317	8
30	739,783	8

Примечание: Паспортные характеристики применяемого оборудования m_L=0,5 мм, m_β=1,0"

Файл проверен

Приложение 2

Значения расстояний между исходными пунктами обратной линейно-угловой засечки для расчета величины СКО определяемого пункта

№ варианта	$L_{исх.1}$,м	$L_{исх.2}$,м	$L_{исх.3}$, м
1	110,567	62,125	28,156
2	112,489	59,368	26,897
3	115,456	65,345	29,456
4	118,234	67,456	31,478
5	115,649	70,387	35,489
6	120,321	75,238	38,498
7	125,489	80,287	42,156
8	127,566	83,222	50,148
9	130,005	88,144	52,234
10	135,378	79,346	43,167
11	138,642	82,345	39,455
12	142,238	98,345	48,498
13	148,267	101,345	58,116
14	150,345	105,267	65,234
15	155,789	108,488	67,009
16	157,388	110,451	64,399
17	159,405	108,349	58,462
18	162,126	111,233	61,489
19	167,455	115,477	65,490
20	170,308	120,104	69,330
21	118,234	82,345	39,455
22	115,649	98,345	48,498
23	120,321	101,345	58,116
24	125,489	105,267	65,234
25	127,566	108,488	67,009
26	130,005	110,451	64,399
27	135,378	108,349	58,462
28	138,642	111,233	61,489
29	142,238	115,477	65,490
30	148,267	120,104	67,467

Файл проверен