

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

Н. С. Косарев, А. В. Никонов, Е. К. Лагутина

УЧЕБНАЯ ПРАКТИКА: НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА

Утверждено редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия для обучающихся по направлению подготовки
21.05.01 Прикладная геодезия (уровень специалитета)

Новосибирск
СГУГиТ
2022

УДК 528.2/.5
К893

Рецензенты: главный специалист АО «Сибтехэнерго» *Ю. П. Казанков*

кандидат технических наук, доцент, СГУГиТ *В. А. Скрипников*

Косарев, Н. С.

К893 Учебная практика: научно-исследовательская работа : учебное пособие / Н. С. Косарев, А. В. Никонов, Е. К. Лагутина. – Новосибирск : СГУГиТ, 2022. – 108 с. – Текст : непосредственный.
ISBN 978-5-907513-41-9

Учебное пособие подготовлено доцентами кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела СГУГиТ, кандидатами технических наук Н. С. Косаревым, А. В. Никоновым, Е. К. Лагутиной.

В учебном пособии рассмотрены общие сведения об учебной практике, приведены базовые теоретические сведения из курса геодезии, сформулированы указания по выполнению каждого этапа практики, включая научно-исследовательскую составляющую. Также в учебном пособии изложены требования, предъявляемые к оформлению материалов учебной практики: научно-исследовательской работы.

Учебное пособие предназначено для обучающихся по специальности подготовки 21.05.01 Прикладная геодезия (уровень специалитета).

Рекомендовано к изданию кафедрой инженерной геодезии и маркшейдерского дела СГУГиТ, Ученым советом Института геодезии и менеджмента СГУГиТ.

Печатается по решению редакционно-издательского совета СГУГиТ

УДК 528.2/.5

ISBN 978-5-907513-41-9

© СГУГиТ, 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	6
1. Общие сведения об учебной практике: научно-исследовательской работе.....	7
1.1. Цель, задачи и организация учебной практики: научно-исследовательской работы	7
1.2. Правила техники безопасности	9
1.3. Обязанности бригадира и членов бригады.....	10
1.4. Материально-техническое обеспечение практики	11
1.5. Правила обращения с геодезическими приборами, рейками, вешками и штативами	13
2. Сведения из курса прикладной геодезии, необходимые для выполнения учебной практики: научно-исследовательской работы.....	14
2.1. Состав работ при инженерно-геодезических изысканиях линейных сооружений	14
2.2. Общие сведения о геодезической основе инженерно-геодезических изысканий	14
2.3. Общие сведения о тахеометрической съемке	21
2.4. Общие сведения о приборах и методы их поверки	24
2.4.1. Электронные тахеометры	24
2.4.2. Нивелиры с компенсатором	28
2.4.3. Спутниковые геодезические приемники	37
3. Создание опорной геодезической сети спутниковыми методами.....	43
3.1. Содержание этапа практики	43
3.2. Схема и принципы построения опорной геодезической сети с применением спутниковой геодезической аппаратуры.....	44
3.3. Полевой этап создания опорной геодезической сети.....	47

3.4. Камеральная обработка результатов ГНСС-измерений.....	49
4. Создание съемочной геодезической сети методом полигонометрии 2-го разряда	54
4.1. Содержание этапа практики	54
4.2. Проектирование, рекогносцировка и закрепление точек полигонометрического хода 2-го разряда на местности	55
4.3. Проложение полигонометрического хода 2-го разряда с помощью электронного тахеометра	56
4.4. Обработка результатов измерений в программном продукте «КРЕДО ДАТ»	59
5. Создание высотной съемочной сети методом геометрического нивелирования III класса	64
5.1. Содержание этапа практики	64
5.2. Производство геометрического нивелирования III класса	64
5.3. Обработка результатов нивелирования III класса	66
6. Полевое трассирование автомобильной дороги.....	68
6.1. Содержание этапа практики	68
6.2. Рекогносцировка трассы	68
6.3. Разбивка пикетажа и поперечников.....	69
6.4. Подготовка материалов, разбивка главных точек круговой кривой и вынос пикетов на кривую	72
6.5. Нивелирование трассы.....	73
7. Тахеометрическая съемка полосы отвода трассы в масштабе 1 : 500.....	76
7.1. Содержание этапа практики	76
7.2. Порядок работы на станции при выполнении тахеометрической съемки	77
7.3. Обработка материалов тахеометрической съемки	78
8. Научно-исследовательская работа: сравнение результатов геометрического и тригонометрического нивелирования	82
8.1. Содержание этапа практики	82

8.2. Методика выполнения двустороннего тригонометрического нивелирования.....	83
8.3. Обработка полевых материалов при сравнении результатов геометрического и тригонометрического нивелирования	86
9. Оформление материалов учебной практики: научно-исследовательской работы	91
Заключение	93
Контрольные вопросы	95
Библиографический список.....	97
Приложение 1. Критерии оценивания обучающихся	
Приложение 2. Фрагмент схемы опорной геодезической сети учебного полигона СГУГиТ	102
Приложение 3. Каталог координат пунктов опорной геодезической сети учебного полигона СГУГиТ	103
Приложение 4. Карточка закладки пункта.....	104
Приложение 5. Лист журнала спутниковых измерений	105
Приложение 6. Журнал измерения горизонтального угла способом отдельного угла	106
Приложение 7. Пример оформления абриса.....	107

ВВЕДЕНИЕ

Учебное пособие по учебной практике: научно-исследовательской работе (далее учебной практике) написано в соответствии с рабочей программой учебной практики для обучающихся по специальности 21.05.01 Прикладная геодезия.

Учебная практика позволит обучающимся получить и закрепить практические навыки геодезических работ по разделам «Опорные инженерно-геодезические сети», «Инженерно-геодезическое обеспечение изысканий линейных сооружений» и «Геодезические разбивочные работы», изученным при освоении дисциплины «Прикладная геодезия».

К линейным сооружениям (объектам, занимающим малую площадь и имеющим значительную протяженность) относятся автомобильные и железные дороги, магистральные наземные и подземные трубопроводы, линии электропередачи, связи и т. п. В рамках учебной практики обучающимися предстоит выполнить комплекс топографо-геодезических работ, входящих в инженерно-геодезические изыскания автомобильной дороги. Полученные обучающимися в течение семестра навыки камерального трассирования автомобильной дороги при реализации программы учебной практики будут расширены и дополнены практическими навыками полевого трассирования.

Учебное пособие содержит указания по проведению и организации работ в бригадах, сведения о правилах техники безопасности. Кроме того, в нем рассмотрены основные геодезические приборы и правила работы с ними. Приведены рекомендации по созданию опорной геодезической сети (ОГС) и съемочной геодезической сети, выполнению разбивочных работ и производству топографических съемок. Описан порядок выполнения научно-исследовательской работы, заключающейся в сравнении результатов геометрического и тригонометрического нивелирования. Сформулированы требования к оформлению материалов учебной практики.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ УЧЕБНОЙ ПРАКТИКЕ: НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

1.1. Цель, задачи и организация учебной практики: научно-исследовательской работы

Учебная практика входит в блок 2 «Практики» и относится к части, формируемой участниками образовательных отношений основной образовательной программы (ООП) высшего образования – программы специалитета федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (далее – ФГОС ВО) по специальности 21.05.01 Прикладная геодезия.

Сроки и содержание практики определяются утвержденным учебным планом и рабочей программой. Практика проводится в аудиториях кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела и на территории учебного полигона СГУГиТ после сдачи обучающимися зачетно-экзаменационной сессии.

Целью проведения учебной практики является закрепление и углубление знаний, полученных обучающимися при изучении теории, общих принципов, методов и технологии инженерно-геодезических работ, а также получение практических навыков полевого трассирования и навыков выполнения самостоятельной научно-исследовательской работы.

Задачами учебной практики являются:

- получение практических навыков эксплуатации приемников глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) и создания опорной геодезической сети методом спутниковых измерений (в [24] используется термин «спутниковая геодезическая аппаратура», редко применяемый на практике);
- закрепление практических навыков создания съемочной геодезической сети методом полигонометрии 2-го разряда и нивелирования III класса (повышенная точность при создании съемочной сети обусловлена ее использованием для выполнения разбивочных работ и увеличенной длиной хода, превышающей допуск для съемки масштаба 1 : 500);

- закрепление практических навыков самостоятельного выполнения тахеометрической съемки полосы отвода трассы линейного объекта с точек съемочной сети (ширина полосы 50 м, масштаб съемки 1 : 500, сечение рельефа 0,5 м);
- получение практических навыков полевого трассирования оси линейного объекта с двумя круговыми кривыми в полосе отвода;
- получение практических навыков подготовки данных и детальная разбивка на местности круговых кривых;
- закрепление практических навыков обработки материалов тахеометрической съемки полосы отвода трассы с созданием цифрового плана местности в масштабе 1 : 500 в специализированных программных продуктах;
- получение профессиональных умений и навыков научно-исследовательской работы по заданию руководителя практики.

Учебно-методическое руководство практикой осуществляет кафедра инженерной геодезии и маркшейдерского дела СГУГиТ. Для непосредственного руководства группой обучающихся приказом по университету назначается руководитель практики.

Группы делятся на бригады, численность которых определяется руководителем практики. В каждой бригаде выбирается бригадир из числа дисциплинированных обучающихся, имеющий организаторские способности.

Каждая бригада выполняет все виды работ, предусмотренные программой практики. Состав бригады не меняется в течение всего периода практики. Запрещается включение в бригаду обучающихся для прохождения отдельных видов работ. Обязательным условием является выполнение каждым обучающимся всех видов работ.

Перед началом практики руководитель проводит инструктаж по технике безопасности, после которого каждый обучающийся расписывается в журнале по технике безопасности. Без подписи в журнале обучающийся к прохождению практики не допускается. После прохождения руководитель знакомит группу с программой практики и очередностью выполнения работ.

Для выполнения заданий по практике каждая бригада получает необходимый комплект приборов и инструментов, журналы для записи результатов измерений и ведомости для вычислений.

Руководитель практики осуществляет контроль за выполнением работ и соблюдением правил внутреннего распорядка, техники безопасности.

После выполнения всего комплекса полевых работ проводится камеральная обработка полученных результатов измерений и надлежащим образом оформляется технический отчет, который предоставляется руководителю на проверку.

Оценка знаний и полученных навыков каждого обучающегося производится дифференцированно по результатам его работы в процессе прохождения практики и сдачи зачета. Проверка знаний и полученных навыков обучающихся проводится комиссией (не менее двух человек) под председательством руководителя летними практиками. Для выставления оценки по учебной практике комиссия придерживается шкалы оценивания, приведенной в рабочей программе (прил. 1).

Обучающимся, не выполнившим в полном объеме программу практики и не отчитавшимся в установленные учебным планом сроки, в зачетной ведомости проставляется «не явился», а время проведения зачета определяется заведующим кафедрой или его заместителем.

1.2. Правила техники безопасности

При выполнении заданий по учебной практике каждая бригада должна строго соблюдать требования по технике безопасности, которые приведены в правилах по технике безопасности на топографо-геодезических работах [2].

Кроме того, поскольку учебная практика проводится в аудиториях кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела и на территории учебного полигона СГУГиТ, обучающиеся также должны руководствоваться следующими основными правилами [3]:

- при грубом нарушении трудовой дисциплины и распорядка дня обучающийся *не допускается* к дальнейшему прохождению учебной практики и направляется руководителем практики в деканат для выяснения сложившейся ситуации;

- при выполнении работ пользоваться неисправным оборудованием и инструментами категорически запрещается. За соблюдением этого требования обязан следить бригадир;

- во время перерывов в работе запрещается оставлять приборы и инструменты без присмотра. Штативы и рейки во время перерывов следует класть на землю, а не прислонять к стенам, дверям и т. п.;
- при выполнении работ вблизи автомобильных дорог обучающиеся должны неукоснительно соблюдать правила дорожного движения, кроме того, каждый обучающийся обязан носить сигнальный жилет;
- обучающимся запрещается открывать люки колодцев подземных коммуникаций;
- складные рейки должны иметь исправные винты в местах скрепления. При работе стопор рейки должен быть надежно закреплен;
- ящики или футляры приборов должны иметь прочно прикрепленные ручки или ремни. Во время работы их следует закрывать и ставить в зоне видимости;
- при переносе штативов необходимо следить за тем, чтобы их стопорные винты были закреплены. Запрещается переносить штативы острыми концами ножек вверх;
- запрещается ломать ветки деревьев, рубить кустарник, рвать цветы на клумбах;
- при работе в жаркое время необходимо защищать голову и тело от прямого воздействия солнечных лучей.

1.3. Обязанности бригадира и членов бригады

В обязанности бригадира во время выполнения учебной практики входит:

- контроль соблюдения правил техники безопасности членами бригады;
- организация и обеспечение получения и сдачи приборов, инструментов и принадлежностей в рабочем состоянии;
- поддержание рабочей обстановки в бригаде;
- составление графиков распределения обязанностей по видам работ в бригаде, предоставление его преподавателю на утверждение и отслеживание выполнения утвержденных графиков;
- ведение дневника прохождения практики;
- мониторинг качественного выполнения заданий в установленные сроки;

– отслеживание полноты и аккуратности ведения журналов, абрисов и другой технической документации.

Каждый член бригады обязан [3]:

– бережно обращаться с геодезическими приборами, оборудованием, пособиями и другим государственным имуществом;

– соблюдать правила техники безопасности и внутреннего распорядка;

– сознательно и ответственно относиться к порученному делу.

При нарушении правил техники безопасности к обучающимся могут быть применены следующие меры административного взыскания: замечание, выговор, прекращение практики с откомандированием в деканат, а также различные меры общественного воздействия [4].

1.4. Материально-техническое обеспечение практики

Для выполнения работ, предусмотренных учебной практикой, каждая бригада обеспечивается лабораторией кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела СГУГиТ следующими геодезическими приборами, инструментами и принадлежностями:

- комплект спутниковой геодезической аппаратуры – 1 шт.;
- электронный тахеометр – 1 шт.;
- нивелир с компенсатором – 1 шт.;
- штатив – 3 шт.;
- отражатель стандартный – 2 шт.;
- трегер с адаптером – 2 шт.;
- вешка для отражателя – 1 шт.;
- лот-аппарат (если он не встроен в трегер или адаптер) – 1 шт.;
- нивелирные рейки – 2 шт.;
- башмаки под нивелирные рейки – 2 шт.;
- молоток для забивки кольев – 1 шт.;
- рулетка 5 м – 1 шт.;
- папка с материалами практики – 1 шт.

Поскольку в рамках учебной практики разные виды геодезических работ выполняются поэтапно, то каждой бригаде достаточно получить три штатива. Один из них используется для установки ГНСС-приемника (на

этапе создания ОГС), все три штатива задействуются при проложении полигонометрического хода по трехштативной системе (на этапе создания съемочной геодезической сети), а затем один штатив используется для работы с нивелиром (на этапе нивелирования III класса) и при трассировании и тахеометрической съемке.

Инструменты и оборудование выдаются бригадиру под расписку – составляется перечень полученного оборудования с указанием серийных номеров. Обучающиеся несут ответственность за исправное состояние полученных приборов, инструментов и принадлежностей. В случае поломки, порчи или утраты приборов, инструментов и принадлежностей их ремонт, восстановление или приобретение обучающиеся осуществляют за свой счет.

Для обработки полевых измерений кафедра инженерной геодезии и маркшейдерского дела предоставляет аудиторию с установленным на компьютеры специализированным лицензионным программным обеспечением для оформления окончательного отчета.

Окончательный отчет по учебной практике обучающиеся распечатывают за свой счет.

В период прохождения учебной практики каждая бригада должна иметь следующую нормативно-техническую и методическую документацию в печатном или электронном виде:

- паспорта и инструкции на соответствующие геодезические приборы и инструменты;
- инструкцию по топографической съемке в масштабах 1 : 5 000, 1 : 2 000, 1 : 1 000, 1 : 500 [5];
- инструкцию по проведению технологической поверки геодезических приборов [6];
- инструкцию по нивелированию I, II, III и IV классов [7];
- условные знаки для топографических планов масштабов 1 : 5 000, 1 : 2 000, 1 : 1 000, 1 : 500 [8];
- практикум по геодезии [9];
- СП 317.1325800.2017. Инженерно-геодезические изыскания для строительства. Общие правила производства работ [10].

1.5. Правила обращения с геодезическими приборами, рейками, вешками и штативами

Качество выполнения измерений напрямую зависит от состояния геодезических приборов, реек, вешек и штативов. При использовании приборов, которые имеют какой-либо дефект, значительно ухудшается качество измерений, уменьшается производительность работ, затрачивается дополнительное время на производство поверок и юстировок или приходится переделывать измерения [6, 11].

Поэтому при обращении с геодезическими приборами, рейками, вешками и штативами необходимо соблюдать ряд правил:

- полученные приборы должны быть осмотрены с точки зрения их технического состояния. При обнаружении каких-либо неисправностей или некомплектности прибор должен быть возвращен в геокамеру для его ремонта или замены [6, 12];
- перед установкой прибора на штатив необходимо убедиться в надежности крепления стопорных винтов на ножках штатива;
- при установке на штатив прибор закрепляют станovým винтом, удерживая его за переносную ручку (тахеометр) или подставку (нивелир);
- при переходах необходимо проверять надежность закрепления прибора на штативе;
- при передвижении прибор должен находиться в вертикальном положении;
- у исправного прибора все части двигаются легко и плавно. Нельзя прилагать резкие усилия при вращении винтов или отдельных частей прибора;
- обучающимся запрещено производить разборку и ремонт приборов [3].

2. СВЕДЕНИЯ ИЗ КУРСА ПРИКЛАДНОЙ ГЕОДЕЗИИ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ УЧЕБНОЙ ПРАКТИКИ: НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ

2.1. Состав работ при инженерно-геодезических изысканиях линейных сооружений

Трассирование линейного объекта капитального строительства в составе инженерно-геодезических изысканий выполняется с целью определения положения *трассы* – оси проектируемого сооружения. Ее пространственное положение характеризуется *планом* – проекцией трассы на горизонтальную плоскость и *продольным профилем* – вертикальным разрезом [1]. Обычно трассирование включает два этапа – камеральный и полевой, содержание которых определяется спецификой и уровнем ответственности проектируемого объекта [10].

Полевое трассирование, согласно пп. 5.4.3–5.4.4 [10], включает следующие виды работ:

- рекогносцировочное обследование участка прохождения трассы;
- создание ОГС или геодезической сети специального назначения;
- создание съемочной геодезической сети;
- вынос на местность и закрепление согласованной трассы;
- создание или обновление инженерно-топографических планов полосы местности вдоль оси линейного сооружения;
- разбивка и закрепление пикетажа и плюсовых точек, элементов круговых кривых, а также съемка продольных и поперечных профилей по оси трассы (по дополнительному требованию технического задания).

2.2. Общие сведения о геодезической основе инженерно-геодезических изысканий

Геодезическую основу инженерных изысканий создают путем сгущения государственной геодезической и государственной нивелирной сетей или как самостоятельную сеть в зависимости от целей и задач выполняемых

работ, а также топографо-геодезической изученности участка инженерных изысканий [10].

В составе инженерно-геодезических изысканий, согласно [13], создают опорные геодезические сети, создают и обновляют инженерно-топографические планы в масштабах 1 : 5 000–1 : 200, выполняют трассирование линейных сооружений, специальные геодезические и топографические работы при строительстве и реконструкции зданий и сооружений и т. д. При необходимости эти работы могут быть дополнены рекогносцировкой территории изысканий, созданием съемочных геодезических сетей и геодезическим обеспечением выполнения других видов инженерных изысканий.

Опорная геодезическая сеть (ОГС) – сеть геодезических пунктов постоянного и (или) долговременного закрепления заданного класса (разряда) точности, создаваемая на объекте капитального строительства в установленных системах координат и высот для геодезического обеспечения производства инженерных изысканий [13];

Съемочная геодезическая сеть – геодезическая сеть сгущения, создаваемая для производства топографической съемки, съемки подземных коммуникаций и инженерно-геодезического обеспечения других видов инженерных изысканий [10].

Наиболее широкое распространение при создании плановых ОГС в настоящее время получили методы спутниковых геодезических определений (в том числе с применением сетей постоянно действующих станций ГНСС) и полигонометрии.

Высотную ОГС создают методом геометрического нивелирования в виде сетей нивелирования II, III и IV классов в зависимости от площади (протяженности) и вида строящегося объекта (табл. 1) [10]. В настоящее время нивелирование выполняется оптическими нивелирами с компенсатором или цифровыми нивелирами. Пункты плановой и высотной ОГС обычно совмещают.

Применение спутниковых геодезических измерений для создания высотных ОГС с точностью нивелирования IV класса допускается только с предварительной оценкой точности сети и не менее чем от пяти исходных пунктов. Исходными пунктами в этом случае служат реперы государственной нивелирной сети и других нивелирных сетей, отметки которых полу-

чены из геометрического нивелирования не ниже IV класса. Использование реперов государственной нивелирной сети IV класса для создания ОГС IV класса допускается в исключительных случаях [10].

Таблица 1

Характеристики геометрического нивелирования [10]

Показатель	Значение показателя для класса нивелирования		
	II	III	IV
Допустимая невязка f в ходах и полигонах, мм	$5\sqrt{L}$	$10\sqrt{L}$	$20\sqrt{L}$
Средняя квадратическая погрешность (СКП) измерения превышения на станции, мм, не более	0,30	0,65	3,0
Средняя квадратическая погрешность определения отметок нивелирных точек относительно исходных реперов в самом слабом месте, мм, не более	10	20	30

Для выполнения крупномасштабных (1 : 5 000–1 : 200) топографических съемок, трассирования линейных объектов и обеспечения других видов изысканий (определение координат геологических выработок, сопровождение гидрографических работ и т. д.) создаются съемочные геодезические сети. Координаты и высоты пунктов съемочной сети определяются путем сгущения ОГС, при этом применяются методы спутниковых определений, прокладываются теодолитные ходы, выполняются засечки (прямые, обратные, комбинированные). В зависимости от условий местности и наличия геодезических приборов указанные методы могут применяться как самостоятельно, так и в сочетании.

Высоты пунктов съемочной сети определяют путем проложения ходов технического нивелирования (геометрического или тригонометрического) либо из спутниковых определений, при этом в качестве исходных принимаются реперы (марки) с отметкой из нивелирования IV и более высоких классов.

Плотность ОГС и съемочной геодезической сети должна составлять на незастроенной территории не менее 4, 12, 16 пунктов на 1 км² соответ-

ственно для съемок в масштабах 1 : 5 000, 1 : 2 000 и 1 : 1 000. Для съемки в масштабе 1 : 500 плотность пунктов устанавливается программой изысканий [14].

При создании топографического плана масштаба 1 : 500 предельная длина теодолитного хода между исходными пунктами (например, пунктами ОГС) составляет 1,2 км. Если расстояние между исходными пунктами превышает 1,2 км, то вместо проложения теодолитного хода следует применить метод полигонометрии 1-го или 2-го разряда. Вне зависимости от принятого метода, при съемке в масштабе 1 : 500 необходимо обеспечить СКП определения координат точек съемочного обоснования относительно исходных пунктов не более 8 см (для незастроенной территории, закрытой растительностью, – 10 см) [10].

Оптимальным методом построения планового геодезического обоснования на застроенных территориях и промышленных площадках (где ограничено применение метода ГНСС) является метод полигонометрии. При изысканиях линейных инженерных сооружений (автодорог, газопроводов, линий электропередачи и т. д.) сеть съемочного обоснования имеет вытянутую форму и создается проложением ходов полигонометрии, а при изысканиях площадных объектов (электростанций, заводов) геодезическая основа представляет собой сеть полигонометрии с узловыми точками или систему полигонов (линейно-угловая сеть).

Ходы полигонометрии опираются на исходные пункты, в качестве которых могут выступать существующие пункты государственной геодезической сети (ГГС) или местной (региональной) сети (пп-1 и пп-2, рис. 1) либо вновь заложенные пункты, координаты которых определены спутниковыми методами (сгс-1 и сгс-2, рис. 1) Места закладки пунктов сгс-1 и сгс-2 выбирают с учетом обеспечения взаимной видимости, при этом расстояние между ними должно быть не менее 100–150 м.

Классической можно назвать схему разомкнутого хода полигонометрии, опирающегося на два исходных пункта (пп-1 и сгс-1, рис. 1), на которых измеряются примычные углы (β и γ). Примычным называют угол, измеренный на исходном пункте между начальным направлением (с известным дирекционным углом) и направлением на точку хода. Проложение висячих ходов не допускается.



Рис. 1. Схема одиночного разомкнутого хода полигонометрии

Ожидаемая СКП в положении конечной точки вытянутого полигонометрического хода с примерно равными сторонами, опирающегося на два исходных пункта и дирекционных угла, при условии предварительного исправления углов и при отсутствии ошибок в координатах исходных пунктов может быть рассчитана по приближенной формуле [15]

$$M^2 = [m_S^2] + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} L^2 \frac{n+3}{12}, \quad (1)$$

где m_S – СКП измерения стороны хода (при использовании электронного тахеометра обычно принимается $m_S = 2$ мм);

m_β – СКП измерения углов в ходе (определяется классом или разрядом полигонометрии);

L – длина замыкающей, практически принимаемая равной длине вытянутого хода ($L \approx [S]$);

n – число сторон в ходе.

Формула (1) может служить для предварительной и приближенной оценки точности проектируемого полигонометрического хода. Вычислим величину M для хода, схема которого представлена на рис. 1, принимая $m_S = 2$ мм, $m_\beta = 5''$ (для полигонометрии 1-го разряда), $L = 2,1$ км (исходя из того, что средняя длина стороны $S_{\text{ср}} = 0,3$ км), $n = 7$:

$$M = \sqrt{[0,002^2] + \frac{5^2}{206265^2} 2100^2 \frac{7+3}{12}} = \sqrt{0,000028 + 0,002} = 0,045 \text{ м.} \quad (2)$$

Как видно из соотношения слагаемых в подкоренном выражении (2), наибольший вклад в ошибку M вносит погрешность измерения углов.

Предельная относительная невязка хода вычисляется по формуле

$$\frac{2 \cdot M}{[S]} \leq \frac{1}{T}, \quad (3)$$

где T – знаменатель допустимой относительной ошибки хода соответствующего класса (разряда).

Подставляя найденное значение $M = 0,045$ м в формулу (3) и принимая $T = 10\,000$ (для полигонометрии 1-го разряда), получим $0,09/2100 \leq 1/10\,000$ или $1/23\,333 \leq 1/10\,000$, т. е. неравенство соблюдается, следовательно, запроектированный на рис. 1 ход соответствует по точности полигонометрии 1-го разряда. Нетрудно убедиться, что при $m_s = 30$ мм большее влияние на среднюю квадратическую ошибку конечной точки хода M будет оказывать уже погрешность не угловых, а линейных измерений, при этом относительная погрешность хода составит $1/11\,538$.

В настоящее время на территории городов и промышленных площадок либо при изысканиях инженерных сооружений в залесенной местности могут прокладываться ходы полигонометрии IV класса, 1-го и 2-го разрядов, основные технические характеристики которых приведены в табл. 2.

Развитие ходов и сетей полигонометрии более высоких классов на сегодняшний день нецелесообразно, так как для построения таких сетей более эффективно применять спутниковые геодезические определения.

При проложении ходов полигонометрии следует избегать перехода от наименьших сторон хода к наибольшим. Применение электронных тахеометров позволяет измерять длины сторон в ходах со средней квадратической ошибкой $m_s = \pm 2$ мм + 2 мм/км, что обеспечивает необходимую точность линейных измерений для полигонометрии IV класса, не говоря уже о полигонометрии 1-го и 2-го разрядов. В этом отношении установление наибольшей длины стороны хода (табл. 2) было актуально при применении менее точных средств или методов измерений (оптических дальномеров, параллактического метода и др.), поэтому при создании плановой ОГС методом полигонометрии с использованием электронных тахеометров предельные (наибольшие) длины сторон не устанавливаются. Главное – обеспечить требования, предъявляемые к точности определения положения пунктов сети, приведенные в табл. 3 [10].

Таблица 2

Основные характеристики полигонометрии IV класса,
1-го и 2-го разрядов [14]

Показатели	IV класс	1-й разряд	2-й разряд
Предельная длина хода, км			
Предельные длины отдельных ходов при измерении линий электронными тахеометрами в зависимости от n (числа сторон в ходе), км	8 при $n = 30$ 10 при $n = 20$ 12 при $n = 15$ 15 при $n = 10$ 20 при $n = 6$	10 при $n = 50$ 12 при $n = 40$ 15 при $n = 25$ 20 при $n = 15$ 25 при $n = 10$	6 при $n = 30$ 8 при $n = 20$ 10 при $n = 10$ 12 при $n = 8$ 14 при $n = 6$
Между исходной и узловой точками	2/3 длины отдельного хода, определяемой в зависимости от числа сторон в ходе		
Между узловыми точками	1/2 длины отдельного хода, определяемой в зависимости от числа сторон в ходе		
Длина стороны хода, км			
Наименьшая	0,25	0,12	0,08
Наибольшая	2,00	0,80	0,35
Средняя	0,50	0,30	0,20
Предельная относительная ошибка хода	1 : 25 000	1 : 10 000	1 : 5 000
Точность угловых измерений			
СКП измерения угла, вычисленная по невязкам в ходах, не более	2" *	5"	10"
Допустимая угловая невязка в ходе или полигоне	$\pm 5''\sqrt{n}$	$\pm 10''\sqrt{n}$	$\pm 20''\sqrt{n}$
* – для городской полигонометрии принимается равной 3" [5, 14, 15]			

Таблица 3

Требования к точности определения положения пунктов сети
в полигонометрии IV класса, 1-го и 2-го разрядов [10]

Класс (разряд) полигонометрии	СКП определения координат относительно исходных пунктов, мм, не более	СКП взаимного положения смежных пунктов в плане, мм, не более
IV класс	20	25
1-й разряд	50	30
2-й разряд	50	40

Предварительную оценку точности проекта полигонометрической сети следует выполнять строгим способом в сертифицированных программных продуктах специального назначения, например, в «КРЕДО ДАТ». При задании в программе «КРЕДО ДАТ» конфигурации сети, а также точности угловых и линейных измерений может быть получена *Ведомость оценки точности положения пунктов*, в которой указываются СКП положения пунктов сети.

Сравнение расчетных СКП положения пунктов со значениями из табл. 3 позволяет сделать вывод о корректности выбранных технических параметров сети. Если полученные ошибки превышают допустимые значения, следует изменить форму сети, добавить избыточные измерения или повысить точность измерения элементов сети (повысить класс сети). Ознакомиться более подробно с последовательностью работы в программном продукте «КРЕДО ДАТ» при оценке проекта сети можно в работе [16].

2.3. Общие сведения о тахеометрической съемке

Тахеометрическая съемка – метод наземной топографической съемки небольших участков местности, по результатам которой получают план с изображением ситуации и рельефа.

Для выполнения тахеометрической съемки электронный тахеометр устанавливается на точке съёмочного обоснования (или на пункте ОГС), ориентируется путем визирования на смежную точку (переднюю или заднюю) хода съёмочного обоснования. После ввода в память тахеометра высоты прибора и высоты отражателя приступают к выполнению непосредственной съемки. Для этого выполняются измерения на отражатель, закрепленный на вехе и последовательно перемещаемый по пикетным точкам.

Таким образом, положение пикетных точек определяют относительно пунктов съёмочного обоснования: плановое – полярным способом, высотное – тригонометрическим нивелированием. В процессе измерений ведется абрис – схематический план местности с указанием основных контуров и структурных линий рельефа (водоразделов, перегибов скатов и др.), а также нумерации пикетов.

Территория съемки должна быть покрыта пикетными точками равномерно, без пропусков. Густота пикетных точек (максимальное расстояние между ними) зависит от масштаба съемки, высоты сечения рельефа и регламентируется инструкцией по топографической съемке (табл. 4).

Таблица 4

Максимальные расстояния от прибора до пикетов
и между пикетами [5]

Масштаб съемки	Высота сечения рельефа, м	Максимальное расстояние между пикетами, м	Максимальное расстояние от прибора до рейки, м	
			при съемке рельефа	при съемке контуров
1 : 5 000	0,5	60	250	150
	1,0	80	300	150
	2,0	100	350	150
	5,0	120	350	150
1 : 2 000	0,5	40	200	100
	1,0	40	250	100
	2,0	50	250	100
1 : 1 000	0,5	20	150	80
	1,0	30	200	80
1 : 500	0,5	15	100	60
	1,0	15	150	60

Нормативными документами [5, 13] установлены допустимые средние погрешность определения планового положения предметов и контуров местности с четкими, легко распознаваемыми очертаниями (границами) относительно ближайших пунктов съемочного обоснования. Для незастроенных территорий средние ошибки не должны превышать 0,5 мм в масштабе плана для открытой местности и 0,7 мм – для горных и залесенных районов.

В частности, при создании плана масштаба 1 : 500 средняя погрешность при съемке четких контуров на открытой местности не должна превышать 25 см. Переходя к СКП, получим $m = 1,4 \cdot \theta = 1,4 \cdot 25 = 35$ см.

Инструкцией [5] установлены максимальные расстояния от прибора до рейки (табл. 4). Так, при съемке четких контуров для масштаба 1 : 500 до-

пускается удаление рейки от прибора всего на 60 м. Предполагая, что съемка ведется оптическим теодолитом, а расстояния до пикета определяются нитяным дальномером с относительной ошибкой $1 : 300$, в худшем случае (при $S = 60$ м) получим ошибку измерения расстояния 20 см. Очевидно, что максимальные расстояния от прибора до рейки (табл. 4) рассчитаны исходя из выполнения съемки устаревшими приборами (теодолитами, оптическими тахеометрами). При выполнении тахеометрической съемки электронными тахеометрами расстояние до отражателя может достигать 1 500 м, однако на столь больших расстояниях значительно влияние вертикальной рефракции [17]. Поэтому при работе с электронными тахеометрами максимальное расстояние до отражателя рекомендуется ограничивать 200–350 м.

При выполнении съемки застроенных территорий предельные погрешности во взаимном положении на плане закоординированных точек и углов капитальных зданий (сооружений), расположенных один от другого на расстоянии до 50 м, не должны превышать 0,4 мм в масштабе плана [13].

Средние погрешности съемки рельефа и его изображения на инженерно-топографических планах относительно ближайших точек съемочного обоснования выражаются в долях от принятой высоты сечения рельефа и не должны превышать [13]:

- $1/4$ – при углах наклона местности до 2° ;
- $1/3$ – при углах наклона поверхности от 2 до 6° для планов в масштабах $1 : 5\,000$ и $1 : 2\,000$ и от 2 до 10° для планов в масштабах $1 : 1\,000$, $1 : 500$ и $1 : 200$;
- $1/3$ – при высоте сечения рельефа через 0,5 м для планов в масштабах $1 : 5\,000$ и $1 : 2\,000$.

При проведении тахеометрической съемки должен осуществляться контроль стабильности положения прибора: пузырек уровня не должен значительно уходить за пределы нуль-пункта, отсчет по горизонтальному кругу при наведении на ориентирное направление (смежную точку хода съемочного обоснования) должен сохраняться постоянным. Ориентировка прибора проверяется по окончании работ на станции путем повторного наведения на смежную точку хода – изменение отсчета не должно превышать $20\text{--}30''$.

В целях контроля и во избежание пропусков («окон») при тахеометрической съемке следует определять с каждой станции несколько пикетов, определенных с соседних станций [4].

2.4. Общие сведения о приборах и методы их поверки

2.4.1. Электронные тахеометры

Электронный тахеометр – геодезический прибор, выполненный в едином электронно-оптическом блоке с автоматической регистрацией результатов измерений, предназначенный для измерения расстояний, горизонтальных и вертикальных углов и определения значений их функций [18, 19].

Этим прибором можно измерять следующие величины:

- горизонтальные углы (β);
- наклонные расстояния (S);
- зенитные расстояния (z) или углы наклона (v).

Измеренные величины могут быть преобразованы в следующие значения: D – горизонтальное проложение; h – превышение; x, y – плановые координаты; H – отметка точки.

Преобразование измеренных величин в плановые координаты точки с отметкой H выполняется в электронном тахеометре по формуле

$$\left. \begin{aligned} x &= D \cdot \cos \alpha; \\ y &= D \cdot \sin \alpha; \\ H &= H_{\text{ст}} + S \cdot \sin v + i - l, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где α – дирекционный угол направления;

$H_{\text{ст}}$ – отметка точки, над которой установлен тахеометр;

i – высота прибора над точкой;

l – высота визирной цели (отражателя).

Горизонтальное проложение D в формуле (4) вычисляется по измеренным наклонному расстоянию S и углу наклона v :

$$D = S \cdot \cos v. \quad (5)$$

Электронный тахеометр конструктивно состоит из двух основных частей: угломерной, которая выполняет функцию измерения горизонтальных и вертикальных углов, и дальномерной, которая предназначена для измерения расстояний.

В настоящее время выпускается огромное количество электронных тахеометров различных моделей и производителей (Leica, Sokkia, Trimble, Topcon, GeoMax, «УОМЗ» и др.). Наивысшая достижимая точность измерения углов тахеометрами составляет $0,5''$, расстояний – $0,5$ мм. Такие тахеометры применяются при мониторинге деформаций уникальных инженерных сооружений и, как правило, имеют функцию автоматического наведения на цель. Приборы со средней квадратической ошибкой измерения углов $m_\beta \leq 2''$ можно считать высокоточными. Для более массовых работ (строительство, инженерные изыскания) широко применяются тахеометры с $m_\beta = 5''$ и $m_S = 2$ мм + 2 мм/км.

В качестве примера на рис. 2 представлен внешний вид современных электронных тахеометров GeoMax Zoom30 и Leica TS07.



Рис. 2. Внешний вид современных электронных тахеометров:

а) GeoMax Zoom30; б) Leica TS07

Рабочий комплект электронного тахеометра дополнительно включает следующее геодезическое оборудование и приспособления [20]:

- кабель для передачи исходной информации с компьютера в память прибора, а файлов измерений – с тахеометра на компьютер;
- зарядное устройство для аккумуляторов;
- отражательная призма с визирной маркой;
- трегер (подставка), оптический центрир или адаптер трегера с оптическим центриром;
- комплект пленочных отражателей;
- штативы;
- вехи с уровнем для установки призмы и подпорки для вехи (бипод).

Для выполнения работ должны применяться электронные тахеометры, прошедшие ежегодную метрологическую поверку, что подтверждается наличием свидетельства о поверке. Такая поверка осуществляется аккредитованными организациями и проводится в лабораторных условиях на специальных стендах. До начала полевых работ исполнителю необходимо выполнить внешний осмотр прибора, проверить плавность вращения его винтов и чистоту оптики, а также провести основные поверки тахеометра, чтобы убедиться в его работоспособности. Особое внимание при проверке прибора на работоспособность следует обращать после его транспортировки, длительного хранения и работы в неблагоприятных условиях.

При получении тахеометра необходимо проверить его внешнее состояние и комплектность, а также убедиться в его работоспособности (включить прибор, заглянуть в зрительную трубу и т. д.).

После внешнего осмотра опробованию подлежит следующее:

- ход подъемных и наводящих винтов должен быть плавным, равномерным, без заеданий;
- при вращении тахеометра вокруг оси должна быть обеспечена азимутальная устойчивость штатива и трегера.

Для проверки устойчивости штатива необходимо установить на нем тахеометр в рабочее положение и, выполнив наведение на удаленную точку, слегка нажимать на головку штатива, придавая ей вращательное движение и отклоняя тем самым визирную цель от первоначального положения (примерно на половину ширины биссектора сетки нитей). После прекращения

нажатия визирная ось должна всегда возвращаться в прежнее положение. В противном случае следует потуже затянуть регулировочные винты штатива. Аналогично проверяют устойчивость трегера, прилагая легкое вращательное движение уже к нему.

Также перед началом работ выполняют стандартные поверки:

- установочного круглого и цилиндрического (при наличии) уровней;
- оптического (лазерного) отвеса;
- коллимационной ошибки (c);
- места нуля (МО).

Поверки коллимационной ошибки и места нуля в электронных тахеометрах выполняются с помощью соответствующих разделов меню прибора. Вновь определенные значения коллимации или места нуля не исправляются механически, а заносятся в память прибора и учитываются в процессе измерений. Кроме перечисленных поверок в меню тахеометров могут быть встроены и другие виды поверок: например, в тахеометрах Leica можно выполнить поверку наклона оси вращения трубы, в тахеометрах Sokkia – поверку места нуля компенсатора. Поэтому при выполнении поверок следует пользоваться руководством по эксплуатации конкретного тахеометра.

Для примера приведем последовательность выполнения поверки коллимационной ошибки тахеометра, то есть неперпендикулярности визирной оси и оси вращения зрительной трубы:

- электронный тахеометр устанавливают на штатив и приводят его в рабочее положение (выполняют горизонтирование прибора по электронному уровню). Открывают раздел меню тахеометра **Юстировки** и выбирают в нем **Коллимационная ошибка**;

- при круге лево наводят на хорошо различимую точку, расположенную на удалении порядка 100 м и примерно на уровне горизонта прибора (рис. 3). Выполняют запись отсчета по горизонтальному кругу в память прибора;

- переводят зрительную трубу через зенит и наводят на эту же точку при круге право (рис. 4), выполняют запись отсчета. На дисплей выводится прежнее значение коллимационной ошибки и вновь полученное;

- для контроля выполняют еще один прием измерений на ту же точку;
- среднее значение коллимационной ошибки из двух приемов принимается за верное, которое записывается в память прибора.

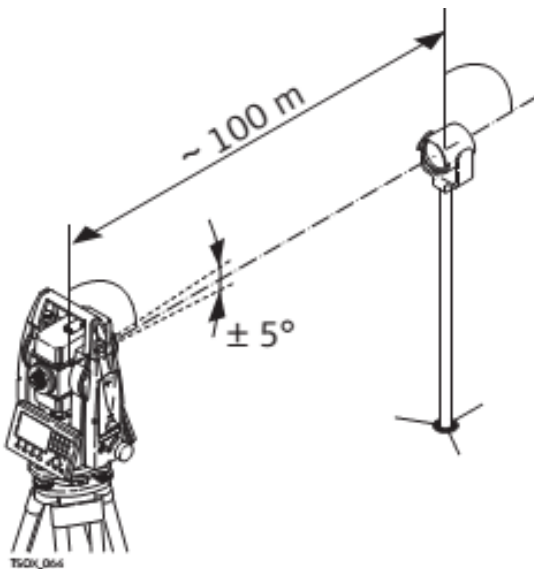


Рис. 3. Процедура наведения на хорошо различимую точку

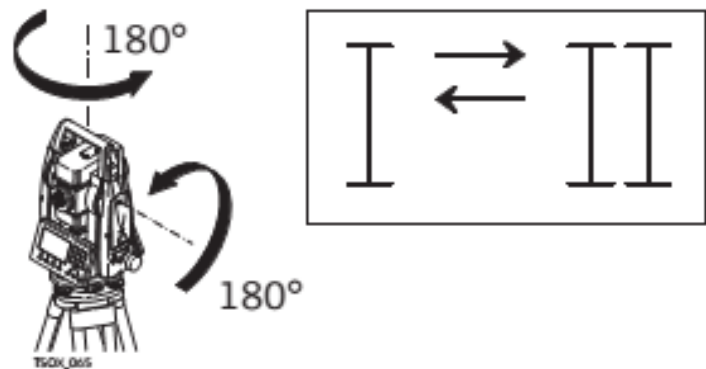


Рис. 4. Смена круга электронного тахеометра

Перед началом работ рекомендуется удостовериться в правильности используемой постоянной отражателя. Для этого на ровной местности закрепляется базис длиной 5–10 м, расстояние между точками которого дважды измеряется стальной рулеткой. После этого тахеометр тщательно центрируется над первой точкой базиса, а отражатель на штативе – над второй точкой. Полученное в ходе измерений тахеометром горизонтальное проложение не должно отличаться от данных по рулетке более, чем на 2–3 мм.

2.4.2. Нивелиры с компенсатором

Нивелир – геодезический прибор, при приведении которого в рабочее положение визирная ось занимает горизонтальное положение. Нивелир используется для определения превышения между двумя точками физической поверхности посредством взятия отсчетов по отвесно установленным на точках рейкам. В соответствии с [21] нивелиры делятся на:

- высокоточные – с СКП измерения превышения на 1 км двойного хода от 0,3 до 0,5 мм;
- точные – с СКП измерения превышения на 1 км двойного хода 2 мм (для нивелиров с компенсатором) и 3 мм (для нивелиров с уровнем);

– технические – с СКП измерения превышения на 1 км двойного хода 5 мм (в прошлом выпускались технические нивелиры с СКП до 10 мм на 1 км двойного хода).

В зависимости от способа приведения линии визирования прибора в горизонтальное положение различают уровенные нивелиры, имеющие цилиндрический уровень и элевационный винт, с помощью которого добиваются горизонтальности визирного луча при нивелировании. Другой тип нивелиров – нивелиры с компенсатором, у которых линия визирования занимает горизонтальное положение автоматически после приведения оси прибора по круглому уровню в отвесное положение [11].

Практически все современные оптические нивелиры оснащены компенсатором, поскольку производительность работ с такими нивелирами на 15–20 % выше, чем с уровенными. Согласно нормативной документации [21], компенсаторы отечественных нивелиров должны соответствовать характеристикам, указанным в табл. 5.

Таблица 5

Основные технические характеристики компенсаторов

Наименование характеристики	Группа нивелиров		
	Высоко-точные	Точные	Технические
Диапазон работы компенсатора, не менее	$\pm 8'$	$\pm 15'$	$\pm 30'$
Систематическая ошибка работы компенсатора на 1' наклона оси нивелира, не более	$\pm 0,05''$	$\pm 0,3''$	$\pm 0,5''$
Время затухания колебаний подвесной системы, с, не более	2	2	2

Следует отметить, что диапазон работы компенсатора современных точных и технических нивелиров, выпускаемых у нас в стране и за рубежом, как правило, составляет $\pm 15'$.

Допустим, ось вращения точного нивелира приведена по круглому уровню в отвесное положение с ошибкой 3'. Это значит, что систематиче-

ская ошибка работы компенсатора может составить до $\pm 0,9''$ (см. табл. 5), т. е. визирная ось отклонится от горизонта до $0,9''$. При визировании на рейку, установленную на расстоянии 100 м от нивелира, ошибка взятия отсчета, обусловленная наклоном визирной оси на $0,9''$, составит в линейной мере $\pm 0,44$ мм, что более чем вдвое меньше точности взятия отсчета (1 мм), т. е. пренебрежимо мало.

На рис. 5 представлен внешний вид оптического нивелира «4Н-ЗКЛ», выпускаемого на Уральском оптико-механическом заводе им. Э. С. Ялмова.



Рис. 5. Внешний вид оптического нивелира с компенсатором «4Н-ЗКЛ»:

1 – фокусирующий винт; 2 – объектив; 3 – подъемный винт; 4 – горизонтальный круг; 5 – винт точного наведения прибора на рейку; 6 – круглый уровень; 7 – индекс горизонтального круга; 8 – окуляр

Наиболее производительными и удобными в обращении являются цифровые нивелиры. При работе с такими нивелирами отсчеты могут браться как визуально (по обычной шашечной рейке), так и автоматически (по специальной штрих-кодовой рейке, рис. 6, б). Для автоматической фиксации отсчета необходима видимость участка штрих-кодовой рейки длиной 30 см. Работа со штрих-кодовыми рейками позволяет исключить ошибки взятия отсчета и до 60 % ускорить процесс нивелирования. На рис. 6, а

представлен внешний вид цифрового нивелира Trimble DiNi 0.7, предназначенного для нивелирования III–IV классов и производства точных измерений при выполнении инженерных работ (дискретность взятия отсчетов составляет 0,1 мм).



Рис. 6. Внешний вид:

а) цифрового нивелира Trimble DiNi 0.7; б) фрагмента штрих-кодовой нивелирной рейки с инварной полосой

К важным достоинствам цифрового нивелира следует отнести возможность сравнительно точного измерения расстояния до рейки (с ошибкой до 30 мм) и введения поправки в отсчет по рейке за влияние угла i (за нарушение главного условия нивелира). При проложении нивелирного хода от исходного репера программное обеспечение нивелира вычисляет отметку текущей точки, длину хода и другие параметры. Результаты измерений записываются во внутреннюю память прибора. Ознакомиться более подробно с функциональными возможностями конкретного цифрового нивелира можно при изучении руководства пользователя прибора.

Основные технические характеристики нивелира Trimble DiNi 0.7 представлены в табл. 6.

Основные технические характеристики нивелира Trimble DiNi 0.7

Наименование характеристики	Значение
СКП измерения превышения на 1 км двойного хода, мм: – электронные измерения на инварную рейку; – электронные измерения на стандартную рейку; – визуальные измерения	0,7 1,3 2,0
СКП измерения расстояния до рейки при работе с точной инварной рейкой (стандартной рейкой), мм	25 (30)
Максимальное расстояние для работы со штрих-кодовыми рейками, м	100
Увеличение зрительной трубы, крат	26 ^x
Диапазон работы компенсатора	±15'
Точность компенсации	±0,5"
Рабочий температурный диапазон	от –20 до +50 °С
Масса (с батареей), кг	3,5

В соответствии с инструкцией по проведению технологической поверки геодезических приборов [6] до выезда на полевые работы выполняются следующие поверки и исследования нивелира и нивелирных реек.

Поверки и исследования нивелира:

- проверка внешнего состояния нивелира и его комплектности;
- опробование;
- проверка установочных уровней;
- проверка правильности установки сетки нитей зрительной трубы;
- проверка главного условия нивелира (определение угла i);
- определение диапазона и погрешности работы компенсатора.

Исследования и поверки нивелирных реек:

- внешний осмотр и опробование;
- проверка правильности установки уровня на рейке;
- определение средней длины метровых интервалов;
- определение разностей высот нулей шкал (для двухсторонних реек);
- определение стрелки прогиба рейки (для деревянных реек).

Ниже приведена поверка главного условия нивелира (определение угла i и юстировка нивелира). Описание и порядок выполнения других поверок приведен в инструкции по нивелированию I, II, III и IV классов [7] и инструкции по проведению технологической поверки геодезических приборов [6].

Главное требование, которое предъявляется к нивелиру при работе с ним, – это обеспечение горизонтальности визирного луча зрительной трубы. Для уровенных нивелиров условие заключается в обеспечении параллельности проекции оси цилиндрического уровня на отвесную плоскость, проходящую через линию визирования, и визирной оси зрительной трубы. Для нивелиров с компенсатором (с самоустанавливающейся линией визирования) главное условие может быть сформулировано так: визирная ось трубы должна занять горизонтальное положение, если пузырек установочного (круглого) уровня приведен в нуль-пункт. В этом случае угол i – это отклонение визирной оси от горизонтального положения [3].

Существует несколько способов определения угла i : способ нивелирования вперед, способ «из середины», нивелирование с различными плечами и другие.

Наибольшее распространение получил так называемый способ «из середины», заключающийся в следующем. Нивелир устанавливают посередине между двумя закрепленными на местности точками A и B , находящимися на расстоянии порядка 50 м друг от друга (рис. 7).

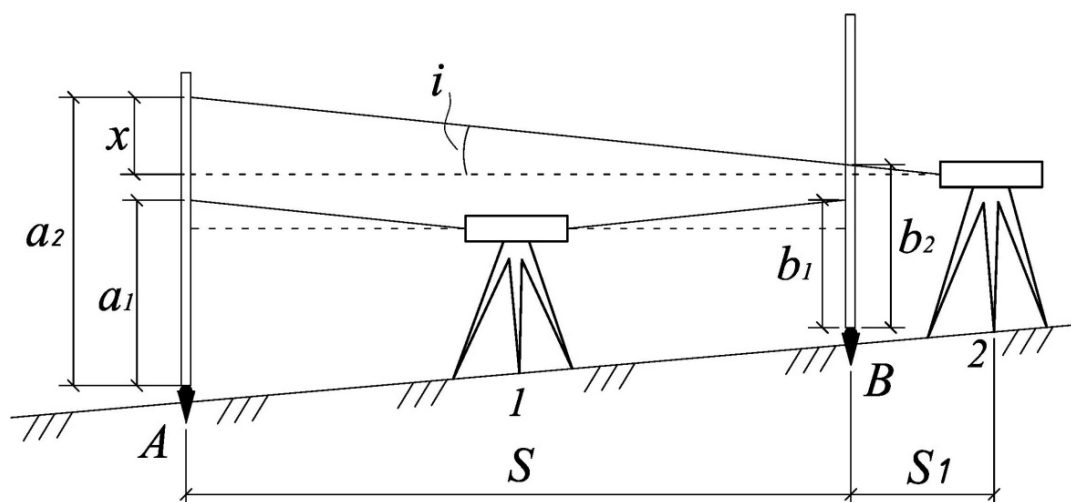


Рис. 7. Способ поверки угла i с измерением превышения из середины

Приводят ось вращения прибора по круглому уровню в отвесное положение и берут отсчеты a_1 и b_1 по рейкам, установленным в точках A и B .

Затем нивелир переносят на станцию 2, расположенную на расстоянии 3–4 м от точки B , и после приведения его в рабочее положение берут отсчеты по рейкам: сначала b_2 , потом a_2 .

Далее вычисляют разность превышений h_2 и h_1 между точками A и B , полученных с разных станций:

$$\Delta_h = (a_2 - b_2) - (a_1 - b_1) = h_2 - h_1. \quad (6)$$

Полученная разность Δ_h не должна превышать по абсолютной величине 3 мм, иначе требуется юстировка нивелира.

В угловой мере значение угла i не должно превышать $10''$.

Фактическое значение угла i может быть вычислено в угловых секундах по формуле

$$i = \frac{h_2 - h_1}{S} \rho, \quad (7)$$

где $\rho = 206\,265''$.

Юстировка нивелира заключается в следующем. По рейке, расположенной на точке A , устанавливают правильный отсчет a_0 :

$$a_0 = a_2 - x = a_2 - \Delta_h. \quad (8)$$

Из рис. 7 видно, что превышение, измеренное на станции 1 (из середины) свободно от влияния угла i . При измерениях на станции 2 отсчет b_2 по ближней рейке практически не искажен влиянием угла i (по малости расстояния S_1), в то же время отсчет a_2 искажен на величину x (влияние угла i в линейной мере). Поэтому необходимо сместить положение визирной оси (т. е. сместить сетку нитей), чтобы обеспечить отсчет a_0 по дальней рейке.

Для этого со стороны окуляра откручивается защитный кожух и с помощью юстировочной шпильки вращаются исправительные винты (рис. 8) до тех пор, пока отсчет по рейке не станет равным a_0 . Исправительные винты поворачивают совместно, например, если верхний винт выкручива-

ется, то нижний винт должен закручиваться – этим обеспечивается надежное удержание сетки нитей в заданном положении.



Рис. 8. Нивелир Pentax со снятым кожухом:

1 – верхний исправительный винт; 2 – нижний исправительный винт

После завершения юстировки снова берутся отсчеты a_2 и b_2 по рейкам и вычисляется превышение $h_2 = a_2 - b_2$. Если условие $\Delta h < 3$ мм соблюдается, то процедуру исправления угла i завершают. В противном случае поверку главного условия нивелира повторяют.

Для проверки главного условия цифрового нивелира необходимо в меню прибора активировать соответствующую команду. Например, для нивелира Trimble DiNi 0.7 в главном меню нужно открыть раздел **Настройки**, в котором выбрать пункт **Поверка**.

Будет предложено выполнить поверку одним из четырех методов: метод Ферстнера, метод Нэбауэра, метод Куккамяки и японский метод.

Далее более подробно рассмотрим метод Куккамяки.

На расстоянии около 20 м друг от друга закрепляют на местности две точки A и B , на которые устанавливают рейки. Размещают нивелир посередине между двумя рейками (станция 1) и выполняют измерения на них (рис. 9). При наличии только одной рейки она поочередно устанавливается на точках.

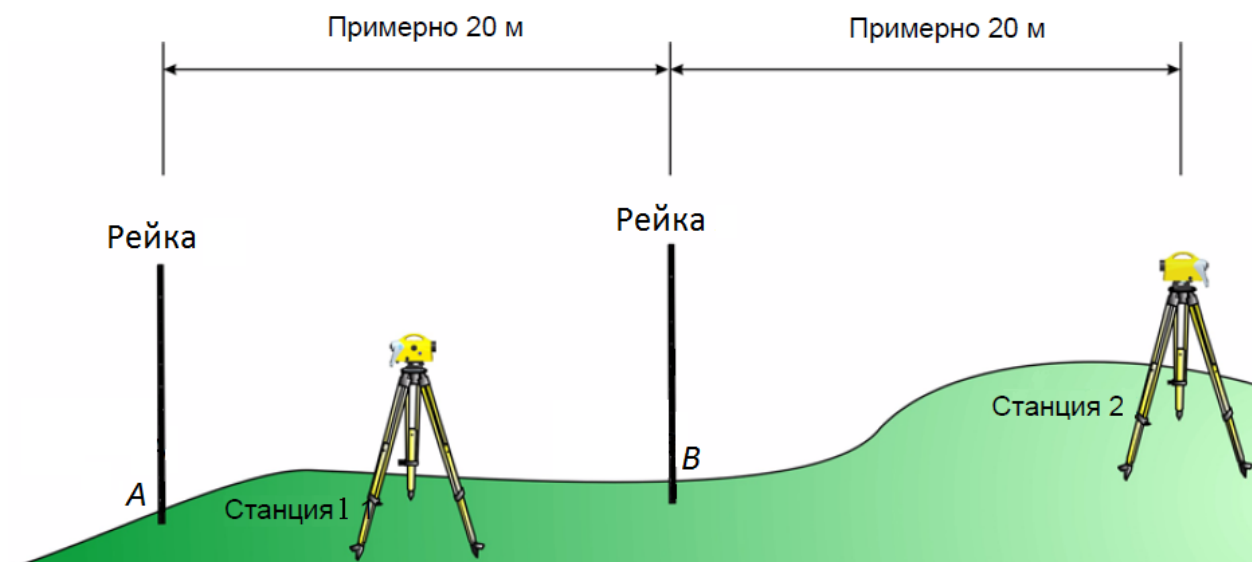


Рис. 9. Схема выполнения поверки главного условия цифрового нивелира по методу Куккамьяки

Измерения повторяют со станции 2, расположенной на расстоянии около 20 м от одной из реек (на продолжении линии AB). После этого на экран нивелира будет выведено старое и новое значение угла i (в меню прибора данный угол обозначен как s), а также величина его изменения Δs . Есть несколько вариантов дальнейших действий: оставить в памяти прибора старое значение s , принять новое значение s или повторить поверку. При установке нового значения s в память прибора будет записано фактическое значение цифрового угла i . Также нивелир предложит установить правильный отсчет по рейке – этот отсчет будет показан на экране. Для этого на точке устанавливают рейку с метрической шкалой и путем поворота торцевым ключом исправительного винта смещают сетку нитей до тех пор, пока не будет обеспечен правильный отсчет по рейке. Этими действиями достигается исправление оптического угла i нивелира, что имеет смысл, если в процессе работы планируется брать отсчеты по рейке визуально.

Результаты поверок и исследований нивелира и реек оформляют в специальных ведомостях (бланках), которые имеются в материалах практики. По результатам поверок и исследований делается заключение о пригодности прибора и комплекта реек для производства нивелирования III класса.

2.4.3. Спутниковые геодезические приемники

Спутниковый геодезический приемник (приемник глобальных навигационных спутниковых систем) – это геодезическая аппаратура потребителей ГНСС, предназначенная для приема и обработки радионавигационных сигналов навигационных космических аппаратов ГНСС с целью определения пространственных координат, составляющих вектора скорости и поправки часов потребителя ГНСС, область применения которой решает задачи геодезического обеспечения [22, 23].

Основным принципом спутниковых геодезических определений является измерение временной задержки прохождения радионавигационного сигнала и вычисление по ней расстояния от навигационного космического аппарата ГНСС до фазового центра антенны спутникового приемника. Измеренное в процессе этих определений расстояние называют псевдодальностью. Для создания и развития ОГС используют фазовые псевдодальности, поскольку они позволяют точнее определять расстояние между фазовыми центрами антенн спутника и приемника. Вычисление местоположения антенны выполняется приемником ГНСС по методу обратной пространственной линейной засечки.

Приемники ГНСС классифицируют по следующим критериям:

- по количеству наблюдаемых ГНСС: односистемные, двухсистемные и многосистемные;
- по количеству принимаемых частот несущих волн радионавигационных сигналов: одночастотные, двухчастотные и многочастотные;
- по конструктивному исполнению: моноблочные (интегрированные), модульные, OEM и другие;
- по целевому назначению: авиационные, наземные, морские, космические, геодезические и другие.

Технические характеристики некоторых приемников ГНСС приведены в табл. 7, а их внешний вид показан на рис. 10.

В полевой комплект спутниковой геодезической аппаратуры входит следующее оборудование:

- спутниковый геодезический приемник;
- антенна спутникового приемника;

- контроллер;
- комплект коммутационный (кабель антенна-приемник, кабель приемник-контроллер, кабель приемник-компьютер, зарядное устройство);
- комплект установочный (штатив и трегер, оптический или лазерный центрир, веха, устройство принудительного центрирования, биподы, триподы);
- комплект измерительный (рулетка или мерный жезл);
- вспомогательное оборудование (модемы, автоматизированные метеодатчики, внешние стандарты частоты, удлинители).

Для создания и развития ОГС и сетей сгущения используют относительный метод спутниковых определений, который предполагает наличие двух и более полевых комплектов.

Таблица 7

Технические характеристики некоторых спутниковых приемников

Тип прибора		Leica GS18 T	Trimble R12i	Topcon HiPer VR	Stonex S800A
Количество каналов		555	672	226	394
Сигналы ГНСС	GPS	+	+	+	+
	ГЛОНАСС	+	+	+	+
	BeiDou	+	+	+	+
	Galileo	+	+	+	+
	QZSS	+	+	+	+
	NavIC	+	+	–	–
	SBAS	+	+	+	+
	L-band (глобальный сервис кор- рекции RTK)	SmartLink	Trimble RTX	TopNET GLOBAL-D	Atlas H10 / H30 / H100
СКП статика	в плане, мм	3 + 0,5 мм/км	3 + 0,5 мм/км	3 + 0,4 мм/км	3 + 0,5 мм/км
	по высоте, мм	5 + 0,5 мм/км	5 + 0,5 мм/км	5 + 0,5 мм/км	5 + 0,5 мм/км
СКП RTK	в плане, мм	8 + 1 мм/км	8 + 1 мм/км	5 + 0,5 мм/км	8 + 0,8 мм/км
	по высоте, мм	15 + 1 мм/км	15 + 1 мм/км	10 + 0,8 мм/км	15 + 1 мм/км
Рабочий диапазон температур, °С		от –40 до +65	от –40 до +65	от –40 до +70	от –40 до +65



Рис. 10. Внешний вид спутниковых геодезических приемников некоторых производителей

Согласно нормативной документации [24], процедуру поверки имеют право выполнять только сотрудники специальных метрологических служб, аттестованные в качестве поверителя и имеющие не менее двух лет опыта работы со спутниковой геодезической аппаратурой.

Обязательным при выполнении поверки является полная комплектность спутниковой геодезической аппаратуры и наличие программного обеспечения для обработки результатов.

Перед началом поверки исполнителям необходимо ознакомиться с руководствами пользователя на спутниковые приемники и запланировать время выполнения измерений. Наиболее благоприятными для съемки являются периоды, когда число наблюдаемых спутников ≥ 6 (при их высоте над горизонтом более 15°) и значение коэффициента понижения точности позиционирования (PDOP) ≤ 6 .

Поверка начинается с внешнего осмотра: аппаратура не должна иметь дефектов, механических повреждений, видимой коррозии. Проверяют четкость контуров пузырьков установочных уровней трегеров и исправность переключателей, сохранность поясняющих надписей и заводского номера, целостность наружных оболочек кабелей, чистоту контактов в разъемах [24].

Затем выполняется проверка работоспособности аппаратуры: при включении штатные источники питания показывают полный заряд, в течение 10–15 минут должен произойти «захват» сигналов спутников и определено примерное местоположение приемника.

Проверка фазовых измерений спутниковой геодезической аппаратуры может быть выполнена двумя методами [24]:

- определение погрешности измерений базовых линий косвенным методом в статическом режиме;
- определение погрешности измерений приращений координат в статическом режиме по невязкам в замкнутых фигурах (треугольниках).

Погрешность измерений базовых линий определяют с помощью двух приемников – базового и подвижного (называемого еще мобильным [24]). Базовый приемник устанавливают на пункте эталонного пространственного полигона (ЭПП) на расстоянии 3–30 км от эталонного линейного базиса (ЭЛБ). Выбирают пять пунктов ЭЛБ, пригодных для спутниковых определений подвижным приемником (рис. 11).

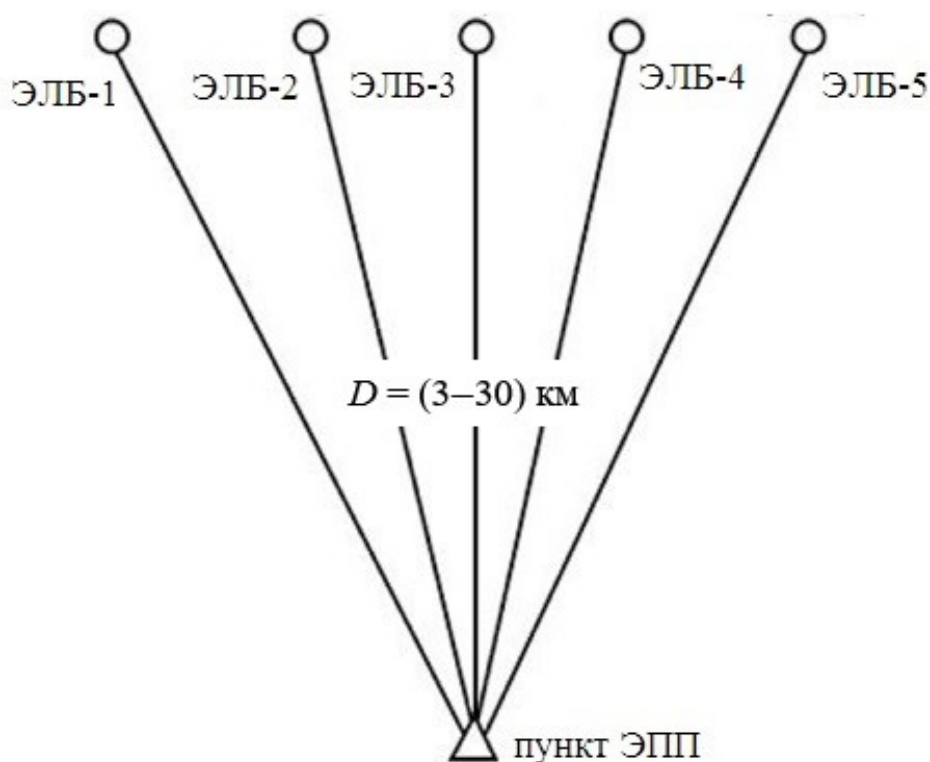


Рис. 11. Схема установки ГНСС-приемников при определении погрешности измерений базовых линий косвенным методом

Если комплект поверяемой аппаратуры состоит из одного приемника, то допускается в качестве базового использовать постоянно действующую базовую станцию [24].

Антенны приемников приводят в рабочее положение:

- метку «север», если она имеется на корпусе, ориентируют с точностью 5° ;
- измеряют высоту антенны с помощью рулетки (или линейки).

Согласно программе наблюдений, выполняют измерения базовых линий (длительностью не менее 60 мин), перемещая подвижный приемник с пункта ЭЛБ-1 на пункт ЭЛБ-2 и т. д. [24].

Параметры съемки приемника (угол отсечки по высоте, интервалы записей, минимальное число спутников и т. п.) должны соответствовать рекомендациям руководства пользователя.

С помощью программного обеспечения выполняют обработку измерений, получают расстояния в общеземной системе отсчета (ITRS, WGS-84, ПЗ-90), а также значения наклонных расстояний между пунктами ЭЛБ.

В соответствии с [24] поверка приемников ГНСС заключается в сравнении компонентов векторов базовых линий – эталонного и вычисленного по измерениям поверяемой спутниковой аппаратуры. Аппаратура соответствует своим метрологическим характеристикам, если ошибки в плане (m_D) и по высоте (m_h) не превышают с доверительной вероятностью 0,95 погрешностей измерений, увеличенных в θ раз:

$$m_D^{\text{доп}} = \theta \cdot (a + b \cdot D \cdot 10^{-6}); \quad (9)$$

$$m_h^{\text{доп}} = \theta \cdot (a' + b' \cdot D \cdot 10^{-6}), \quad (10)$$

где a, b, a', b' – паспортные характеристики точности ГНСС-аппаратуры;

D – расстояние между пунктами (в км);

θ – квантиль.

Погрешность измерения приращений координат по невязкам в замкнутых фигурах определяют только при наличии трех и более приемников, выполняющих одновременные измерения длительностью не менее 60 мин, на соответствующем количестве пунктов ЭЛБ. Для обеспечения независи-

мости (один из векторов треугольника должен быть измерен в другое время и при других условиях) выполняют сдвоенные наблюдения с перестановкой высоты антенны не менее чем на 10 см [24].

Компоненты векторов базовых линий треугольников вычисляют из совместной обработки независимых результатов измерений и уравнивают. Невязки приращений по каждой из координат не должны превышать допускаемых значений $w_{X,Y}^{\text{доп}}$, $w_Z^{\text{доп}}$ вычисленных по формулам [24]:

$$w_{X,Y}^{\text{доп}} = m_D^{\text{доп}} \sqrt{3}; \quad (11)$$

$$w_Z^{\text{доп}} = m_D^{\text{доп}} \sqrt{3}. \quad (12)$$

Положительные результаты поверки оформляют свидетельством о поверке, где наносят оттиск номерного поверительного клейма. Отрицательные результаты поверки оформляют в виде «Извещения о непригодности».

3. СОЗДАНИЕ ОПОРНОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ СПУТНИКОВЫМИ МЕТОДАМИ

3.1. Содержание этапа практики

Опорная геодезическая сеть для выполнения инженерно-геодезических изысканий автомобильной дороги на объекте создается методом относительных спутниковых определений на основании существующей государственной геодезической сети или сетей постоянно действующих (референцных) станций ГНСС.

Относительный метод спутниковых определений – это метод, позволяющий вычислить приращение координат пункта наблюдений относительно опорного пункта по результатам совместной обработки синхронно выполненных на этих пунктах сеансов спутниковых определений [25].

Практические навыки работы по созданию ОГС с использованием современных ГНСС-приемников и специализированного программного обеспечения обучающиеся получают в бригадах.

Каждая бригада выполняет спутниковые измерения своей части программы наблюдений, составленной совместно с руководителем практики.

Спутниковые геодезические определения выполняются в соответствии с методиками, изложенными в [26, 27] и настоящем учебном пособии. Каждый член бригады должен принять участие в измерениях.

Весь объем работ по созданию ОГС можно разделить на следующие этапы:

- подготовительный этап (знакомство с методикой выполнения измерений и выполнение поверки ГНСС-приемников);
- выполнение спутниковых геодезических наблюдений на четырех пунктах ОГС;
- обработка результатов измерений в программном продукте «КРЕДО ГНСС» или Trimble Business Center.

3.2. Схема и принципы построения опорной геодезической сети с применением спутниковой геодезической аппаратуры

Схема и метод развития ОГС с применением ГНСС-приемников зависят от:

- вида создаваемого объекта. Для линейных сооружений сеть выглядит цепочкой треугольников, для площадных сооружений – полигонами треугольников, геодезических четырехугольников или центральными системами. Спутниковую сеть создают по возможности равноугольными треугольниками с рекомендованными значениями углов от 20° до 160° [27];
- количества пунктов существующей ОГС, пригодных для спутниковых наблюдений (по заданию практики необходимо четыре пункта для каждого участка проектируемой автомобильной дороги);
- количества ГНСС-приемников – критерий определяет метод развития (лучевой или сетевой).

На первом этапе работ обучающиеся выполняют обследование и рекогносцировку пунктов, расположенных на территории учебного полигона СГУГиТ. Схема и каталог координат пунктов в условной системе приведены в прил. 2 и 3. Поиск существующих пунктов ОГС учебного полигона СГУГиТ следует выполнять любым ГНСС-приемником в режиме автономных спутниковых определений по приближенным координатам в геоцентрической системе координат WGS-84, выданных руководителем практики. При отыскании пункта следует убедиться в его сохранности: центр не должен иметь видимых повреждений или выступать из земли.

Далее каждая бригада должна выполнить рекогносцировочные работы с целью определения пригодности пунктов для выполнения спутниковых измерений и, при необходимости, работы по закладке новых пунктов. Основным условием выполнения спутниковых измерений является открытый радиогоризонт для углов возвышения более 10° , то есть в непосредственной близости не должно быть возвышающихся объектов (деревьев, застройки) и высоковольтных линий электропередачи.

Новые пункты ОГС должны быть заложены так, чтобы обеспечить пары на концах проектируемого участка автомобильной дороги для разви-

тия съемочного обоснования методом полигонометрии 2-го разряда. Необходимо обеспечить прямую видимость и расстояние от 100 до 300 м между парами пунктов ОГС. В соответствии с [26] каждый пункт сгущения (новый пункт ОГС) должен быть закреплен знаком долговременного типа (металлическая труба или арматура длиной 60 см). На вновь заложённый пункт оформляется карточка закладки (см. прил. 4).

Создание и развитие ОГС выполняется только относительным методом спутниковых определений в статическом режиме наблюдений.

Статический режим спутниковых наблюдений – это сеанс измерений, синхронно выполняемых двумя и более спутниковыми приемниками на опорном и определяемом пунктах в течение продолжительного периода времени (более 40 мин), при наблюдении не менее чем шести общих спутников.

В геодезической практике принято называть ГНСС-приемник на опорном пункте – базовой станцией, а на определяемом пункте – подвижным (мобильным) приемником.

При наличии только двух спутниковых приемников используют *лучевой метод развития сети* – когда один приемник (базовый) размещают на пункте с известными координатами на весь период измерений, а другой (подвижный) последовательно перемещают по определяемым точкам, выполняя сеансы измерений необходимой длительности (рис. 12, а). Недостаток лучевого метода – отсутствие контроля определяемых координат и значительные временные затраты на последовательные наблюдения всех пунктов. Для повышения надежности создаваемой сети можно выполнять повторные спутниковые наблюдения на каждом определяемом пункте от другой базовой станции (рис. 12, б).

При наличии трех и более спутниковых приемников используют *сетевой метод развития спутниковых сетей*: на всех пунктах располагают спутниковые приемники и выполняют синхронные по времени и одинаковые по продолжительности сеансы измерений, что позволяет увеличить точность и надежность координат благодаря независимым наблюдениям. Если пунктов больше, чем приемников, можно выполнять несколько сеансов наблюдений на перекрывающихся фрагментах ОГС (рис. 13), которые должны иметь не менее трех общих пунктов [27].

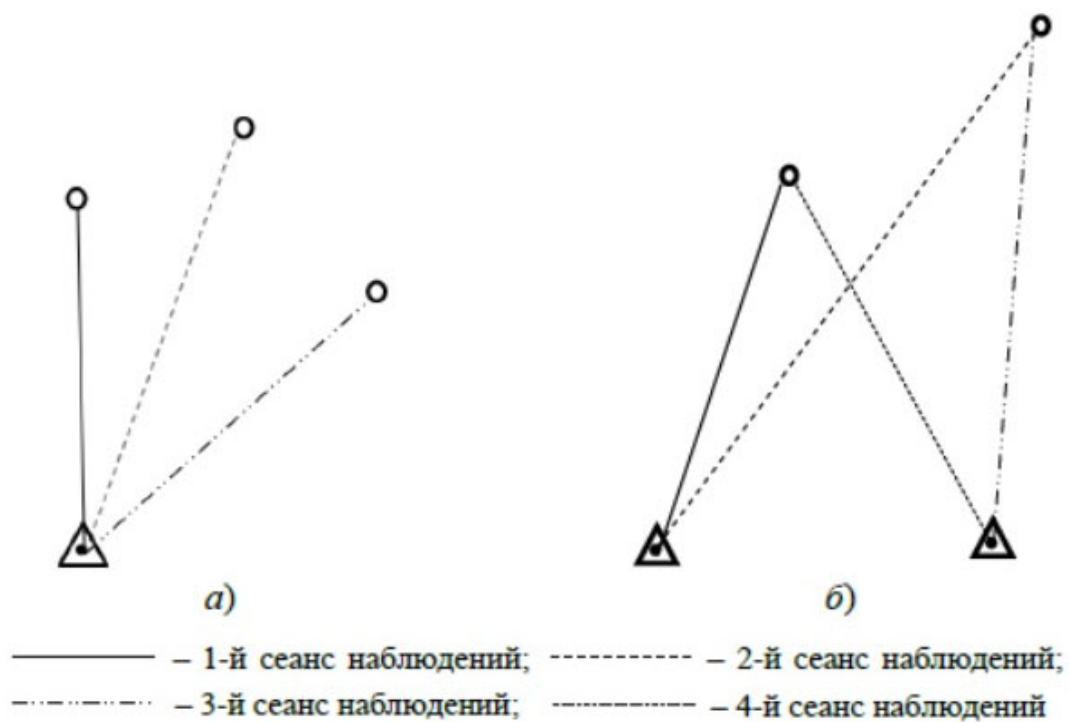


Рис. 12. Схема развития ОГС лучевым методом:
 а) без контроля; б) с контролем

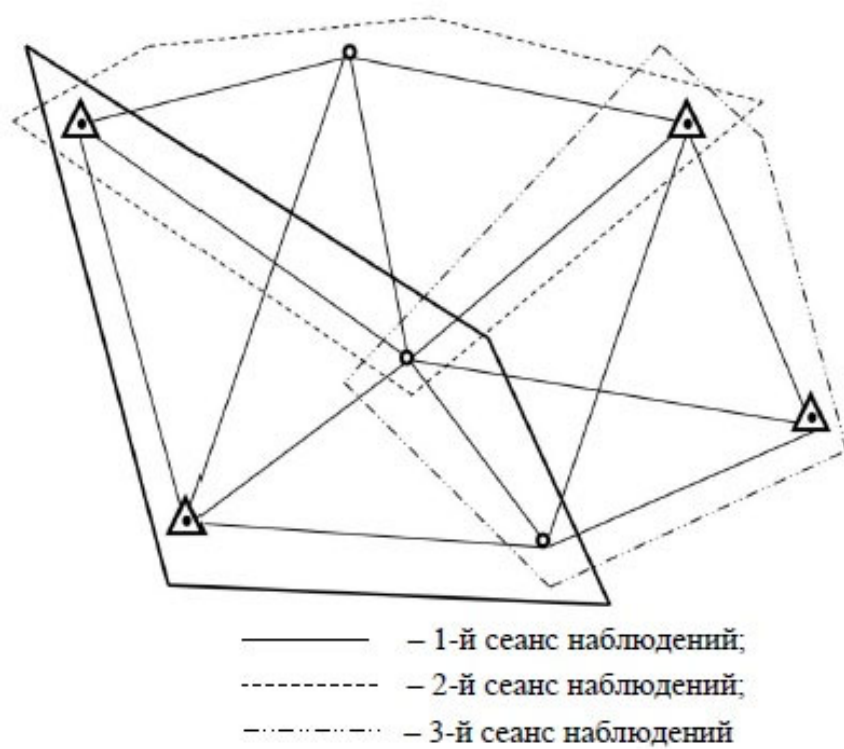


Рис. 13. Схема развития ОГС сетевым методом

Кроме того, при необходимости в одном построении можно совмещать оба эти метода. Число включаемых в ОГС исходных пунктов должно быть не менее четырех, причем на каждом из пунктов сети должно сходиться не менее трех векторов [10].

3.3. Полевой этап создания опорной геодезической сети

Рекогносцировка и полуинструментальная съемка препятствий

Для пунктов существующей на учебном полигоне СГУГиТ ОГС (прил. 2), обнаруженных при обследовании на полузакрытой местности, следует выполнить инструментальную съемку окружающих препятствий (леса, зданий и опор высоковольтной ЛЭП) для составления диаграммы и определения влияния их на последующие спутниковые измерения.

Инструментальная съемка препятствий выполняется в определенной последовательности:

- на пункте устанавливают и приводят в рабочее положение электронный тахеометр;
- прибор ориентируют в направлении на север с помощью буссоли (или электронного компаса в мобильном устройстве) и устанавливают отсчет по горизонтальному кругу, равный 0° ;
- по часовой стрелке измеряют азимут, угол наклона и расстояние до верхней левой границы препятствия, затем правой.

Результаты полуинструментальной съемки заносятся в табл. 8.

Таблица 8

Допустимые расстояния от прибора до пикетов и между пикетами

Азимут, °	Угол наклона, °	Расстояние, м	Описание препятствия
329	23	45	Левый верхний угол здания
87	30	52	Правый верхний угол здания

Измеренные направления и расстояния до углов препятствия учитывают при планировании сеансов спутниковых измерений в специализиро-

ванном программном обеспечении (ПО) или на онлайн-ресурсе (по указанию руководителя практики).

Измерения на пунктах опорной геодезической сети

Перед началом измерений следует убедиться, что выбранный пункт входит в создаваемую ОГС и, согласно программе, спутниковые наблюдения должны быть выполнены сейчас.

Вначале необходимо установить штатив над пунктом, выполнить центрирование и горизонтирование трегера. Затем следует установить антенну спутникового приемника на трегер, подключить остальной комплект и выполнить проверку работоспособности аппаратуры (заряд батареи, количество спутников, величину PDOP).

Далее производят измерение высоты антенны над точкой (среднее из трех измерений высоты с разных сторон штатива) и фиксируют значения в журнале спутниковых наблюдений (прил. 5).

Перейдя в меню режима работы, выбирают режим **Статика**. В настройках этого режима необходимо указать:

- общие для всех точек настройки: интервал измерений (30 с), предельный PDOP (6), запись сырых измерений (Да);
- индивидуальные настройки каждой станции: имя точки (идентификатор из четырех знаков), измеренная высота антенны (значение в метрах) и способ измерения высоты антенны (наклонная).

Затем запускают статическую съемку и заполняют страницу журнала спутниковых наблюдений. Продолжительность измерений определена программой измерений. В процессе съемки исполнитель контролирует качество наблюдений по количеству спутников и величине PDOP.

Наконец, по прошествии необходимого времени завершают съемку и выполняют контрольное измерение высоты антенны.

При выполнении повторных наблюдений на этой же точке высоту установки антенны изменяют не менее чем на 10 см, а все операции по запуску съемки производит другой член бригады. Заполненные страницы журнала спутниковых измерений следует привести в приложениях к отчету по учебной практике.

Обработка результатов спутниковых измерений

Этот процесс выполняется при непосредственном участии руководителя практики в специализированном программном обеспечении, например, в онлайн-сервисах обработки данных (AUSPOS, SOPAC), свободно распространяемом программном обеспечении (RTKLib) или коммерческих программных пакетах, установленных в учебных аудиториях кафедры ИГиМД (Trimble Business Centre, «КРЕДО ГНСС»).

Процесс обработки спутниковых измерений в общем случае состоит из следующих основных этапов:

- импортирование файлов измерений в ПО, при этом обязательно контролируется правильность идентификации типа приемника и антенны, имен точек, значения и способа измерения высоты антенны приемника;
- вычисление векторов базовых линий между базовой станцией и подвижными приемниками. В зависимости от используемого ПО может потребоваться дополнительная информация, например, точные координаты базовой станции и точные эфемериды спутников. Правильность выполнения этого этапа оценивается по полученному типу решения базовой линии (фиксированное) и/или допустимости величины СКП решения в плане и по высоте;
- уравнивание координат пунктов ОГС и оценка точности сети;
- калибровка – преобразование координат определяемых точек в местную систему координат учебного полигона СГУГиТ.

Полученные в результате уравнивания каталоги координат пунктов ОГС учебного полигона СГУГиТ в геоцентрической и местной системах координат, а также схему созданной ОГС следует привести в приложениях к отчету по учебной практике.

3.4. Камеральная обработка результатов ГНСС-измерений

Обработка результатов измерений может быть выполнена в программном продукте Trimble Business Center (TBC) или «КРЕДО ГНСС». Для обработки ГНСС-измерений в TBC необходимо создать и настроить новый проект.

Новый проект может быть создан двумя вариантами. Первый вариант – со стартовой страницы путем выбора пункта **Новый проект**. Открывается диалоговое окно **Создать проект**, в котором выбираем пустой шаблон и нажимаем **ОК**.

Второй вариант: заходим в меню **Файл**, выбираем пункт меню **New**, в котором выбираем пустой шаблон, и нажимаем **ОК**. После того как был создан пустой шаблон, появляется окно **Вид в плане**.

Далее выполняем настройки проекта. Для этого в верхней строке кнопок быстрого доступа нажимаем кнопку **Настройки проекта**. В панели навигации окна настройки проектов выбирается раздел **Система координат**. Далее с помощью руководителя практики выполняется настройка условной системы координат.

В панели навигации **Настройки проекта** выбираем раздел **Единицы**, затем подраздел **Координаты**, в котором указываем порядок вывода координат: **Север, Восток, Отметка**.

Далее выбираем раздел **Обработка базовых линий**, затем подраздел **Обработка**, в котором указываем: тип решения – фиксированное, обработка ГНСС-измерений – по двум частотам, вычислять невязки, а также указываем интервал обработки. Интервал обработки указываем 10 с, в подразделе **Качество** оставляем значения по умолчанию, в подразделе **Спутники** вводим значения маски по высоте и указываем навигационную систему (системы), по которой будет производиться обработка базовых линий. Оставляем галочки только на навигационной системе GPS. Маску по высоте выбираем 10°.

В панели навигации **Настройки проекта** выбираем раздел **СКО по умолчанию**, затем в подразделе **GNSS** вводим среднюю квадратическую ошибку центрирования и измерения высоты антенны. Ошибка измерения высоты антенны составляет 1 мм, а ошибка центрирования – 3 мм. Горизонтальную и вертикальную ошибки можно оставить по умолчанию.

Далее выполняется импорт ГНСС-измерений в Trimble Business Center. Для этого во вкладке **Главная** выбирается команда **Импорт**, после чего необходимо указать директорию на компьютере, из которой будет выполняться импорт ГНСС-измерений. Далее выбрать файлы ГНСС-измерений для загрузки, нажать **Импорт**. После этого происходит загрузка файлов

в папку, в которой хранится созданный проект. Затем открывается окно проверки сырых данных.

В окне проверки сырых данных во вкладках **Антенна** и **Приемник** необходимо убедиться в корректности отображаемой информации: производитель приемника, тип антенны, метод измерений высоты антенны, измеренное значение высоты антенны.

В случае если информация об антенне введена неправильно, то необходимо внести исправления до импорта измерений в проект.

Далее следует выполнить обработку ГНСС-измерений. Для этого нужно выбрать вкладку **Съемка**, нажать кнопку **Обработка базовых линий**, после чего будет выполнена обработка всех базовых линий. Для обработки отдельной базовой линии необходимо ее выбрать и нажать **Обработка базовых линий**. На рис. 14 показан процесс обработки базовых линий.



Рис. 14. Диалоговое окно **Обработка базовых линий**

Для сохранения результатов обработки нажмите кнопку **Сохранить**. После обработки базовых линий некоторые из них будут иметь флаги, говорящие об ошибках, которые необходимо исправить.

Для исправления ошибок, возникающих в результатах обработки базовых линий, существует несколько способов:

- увеличение маски по высоте с 10° до $13\text{--}17^\circ$;
- удаление «нездоровых» спутников;
- удаление спутников с малой продолжительностью наблюдений;
- редактирование базовых линий;
- анализ остаточных невязок по каждому спутнику, с последующим редактированием базовых линий.

После редактирования базовых линий необходимо сформировать сеть, состоящую из независимых базовых линий, после чего выполняется анализ невязок в замкнутых фигурах. Замыкание представляет процедуру, при которой проверяется внутренняя согласованность спутниковой сети.

Во вкладке **Съемка** выбрать команду **Замыкание GNSS полигонов**. Выполняется анализ каждого полигона, и по его результатам выбираются базовые линии, которые будут участвовать в уравнивании сети.

Далее выполняется уравнивание спутниковой сети. В проводнике проекта с помощью команды **Добавить координату** каждому исходному пункту ГГС присваиваются его точные координаты в условной системе (рис. 15).

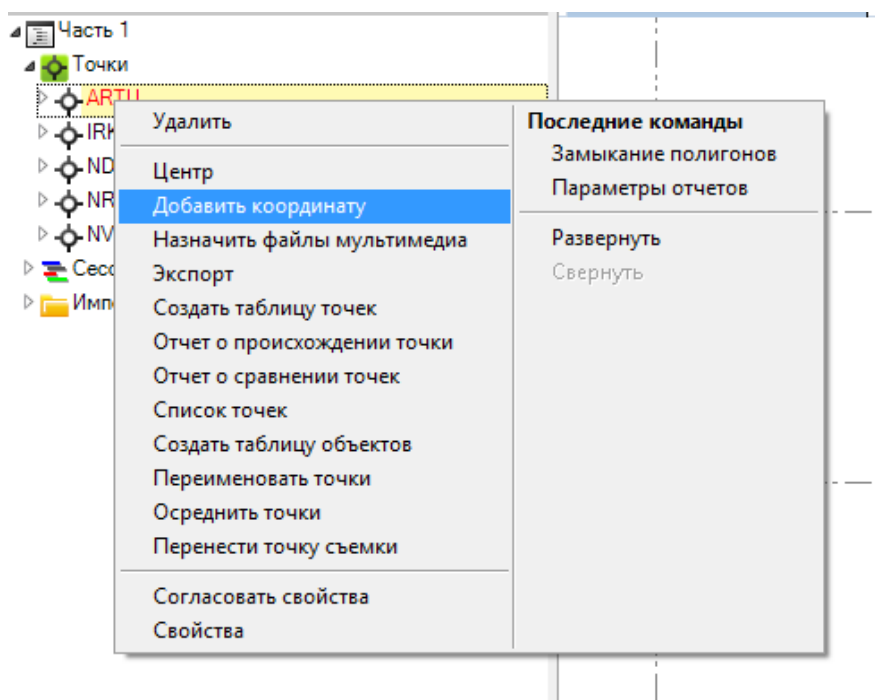


Рис. 15. Команда **Добавить координату**

После этого заходим во вкладку **Съемка**, где выбираем команду **Уравнивание сети**. Открывается панель **Уравнивание сети**. Во вкладке **Фиксация** ставим галочки в столбцах 2D и у тех пунктов, которые мы фиксируем в плане и по высоте.

Далее нажимаем **Уравнять**. Появится сообщение о наличии неустраненных ошибок вычисления в проекте. Нажимаем **Да** для продолжения процедуры уравнивания. Результаты уравнивания отобразятся на вкладке **Результаты** в панели **Уравнивание сети**.

Если во вкладке **Результаты** проверка критерия Хи-квадрат (95 %) не выполнена, необходимо перейти во вкладку **Назначение весов** и нажать на клавишу *.

Далее нажимаем **Уравнять** и после процедуры уравнивания во вкладке **Результаты** проверяем критерий **Хи-квадрат (95 %)**, он должен быть пройден. В **Отчете об уравнивании сети** просмотреть результаты уравнивания.

4. СОЗДАНИЕ СЪЕМОЧНОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ МЕТОДОМ ПОЛИГОНОМЕТРИИ 2-ГО РАЗРЯДА

4.1. Содержание этапа практики

Как правило, метод полигонометрии используется для создания ОГС. В рамках учебной практики метод полигонометрии выбран для создания съемочной геодезической сети. Это обусловлено тем, что согласно [10], допустимая длина теодолитного хода, служащего основой для тахеометрической съемки в масштабе 1 : 500 составляет 1,2 км. Поскольку ход полигонометрии планируется использовать для тахеометрической съемки в масштабе 1 : 500 и разбивочных работ, а его длина может превысить 1,2 км, выбран именно этот метод создания съемочной сети.

Практические навыки по проложению полигонометрического хода 2-го разряда обучающиеся получают в бригадах. Каждая бригада прокладывает полигонометрический ход по закрепленным на местности точкам. Рекогносцировка и закрепление точек полигонометрического хода описаны в подразд. 4.3. Координаты исходных пунктов и дирекционные углы исходных ориентирных направлений получают из результатов создания ОГС спутниковыми методами (разд. 3).

Проложение полигонометрического хода 2-го разряда выполняется в соответствии с инструкцией [5] и настоящим учебным пособием.

При проектировании хода стремятся обеспечить приблизительное равенство длин сторон хода. Каждый член бригады выполняет измерение минимум одной стороны хода.

Весь объем работ по проложению полигонометрического хода можно разделить на следующие этапы:

- подготовительный этап (рекогносцировка и закрепление точек съемочной геодезической сети, проверка комплектности оборудования для работы по трехштативной системе);
- проложение полигонометрического хода 2-го разряда;
- обработка результатов измерений в ПО «КРЕДО ДАТ».

4.2. Проектирование, рекогносцировка и закрепление точек полигонометрического хода 2-го разряда на местности

На этапе проектирования, с опорой на действующие нормативные документы, разрабатывается технический проект, в котором устанавливаются технические требования, содержание и объем работ по всем процессам, приводится оптимальная технология проложения полигонометрического хода, определяются сроки выполнения работ, рассчитывается сметная стоимость и т. д. С помощью специализированных программных продуктов (например, «КРЕДО ДАТ», в виде исключения – по приближенным формулам) выполняется априорная оценка точности запроектированного полигонометрического хода. Создание полигонометрии на небольших по площади территориях может проводиться на основе технической программы, согласованной с заказчиком работ.

В процессе рекогносцировки определяют возможность проложения полигонометрического хода на местности по запроектированным на карте или плане направлениям. При этом проверяют взаимную видимость между пунктами. Количество пунктов соответствует количеству обучающихся в бригаде.

В завершении производится закрепление на местности пунктов полигонометрии центрами. Пункты полигонометрии должны быть расположены примерно на равных расстояниях друг от друга, при этом короткие стороны полигонометрического хода не допускаются (минимальная длина стороны хода полигонометрии 2-го разряда составляет 80 м). Стараются избегать резкого перехода от минимально допустимых длин сторон к максимально допустимым. Места для пунктов должны быть выбраны так, чтобы была обеспечена их долговременная сохранность. Рекомендуется этап рекогносцировки совмещать с закладкой центров.

Во время прохождения учебной практики выбранные на местности места размещения пунктов полигонометрии закрепляют временными центрами (дюбелями или кольями) и составляют на них абрисы, в которых указывается не менее трех ориентиров и расстояния до них. Направления на ориентиры должны образовывать засечку под углами в пределах 30–120°. В завершении заполняют карточки закладки пунктов (прил. 4).

4.3. Проложение полигонометрического хода 2-го разряда с помощью электронного тахеометра

Согласно программе практики, при прокладке ходов полигонометрии используют трехштативную систему. Данный способ предусматривает выполнение следующего условия: ось вращения тахеометра при установке его над центром пункта должна занимать в пространстве то же самое положение, что и вертикальная ось вращения отражателя до и после установки тахеометра.

На практике трехштативная система реализуется путем установки в трех соседних вершинах хода (A , B , и C , рис. 16) штативов с закрепленными на них подставками (трегерами, рис. 17, a).

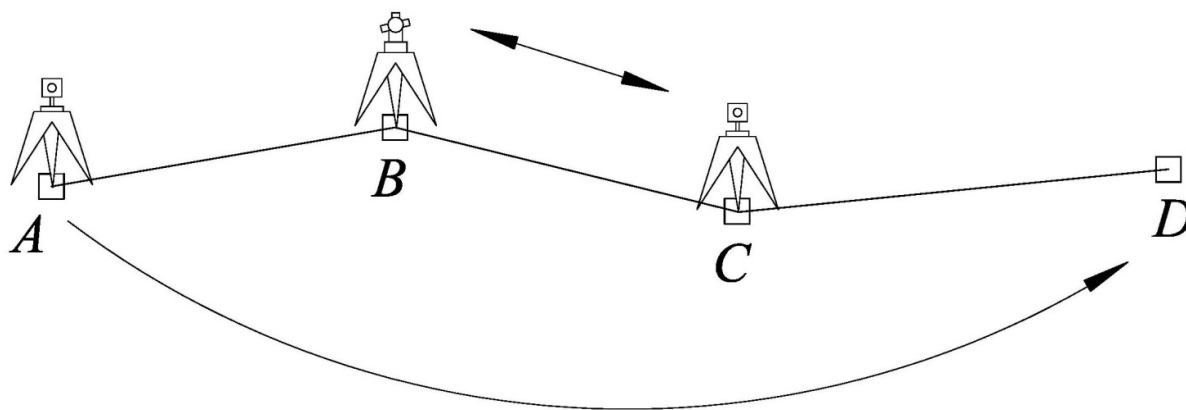


Рис. 16. Трехштативная система

На задней (A) и передней (C) точках хода посредством адаптеров устанавливаются отражатели. В зависимости от типа крепления отражателя различают два вида адаптеров (рис. 17, b , $в$). Адаптеры снабжены оптическим центриром и цилиндрическим уровнем. Если в наличии имеется простой адаптер (без встроенного центрира), то тогда для работы подбирается специальный трегер, снабженный центриром (рис. 17, a).

В точке B (вершине измеряемого угла) устанавливают тахеометр, выполняют его центрирование и горизонтирование, рулеткой измеряют высоту оси вращения зрительной трубы над точкой. Центрирование над точками тахеометра и отражателей выполняется с точностью 1 мм.



Рис. 17. Оборудование для работы по трехштативной системе:
 а) трегер со встроенным цетриром; б) адаптер трегера Leica; в) адаптер трегера

Далее включают прибор, в память которого вводят информацию о станции (название пункта и высоту установки прибора) и информацию об измеряемом пункте – его название и высоту отражателя. Для корректного измерения расстояний в настройках прибора вводятся актуальные значения метеопараметров и постоянная отражателя. После завершения подготовки прибора к работе измеряют горизонтальный угол, углы наклона и наклонные расстояния. В полигонометрии 2-го разряда горизонтальные углы измеряют двумя полными приемами.

После завершения измерений на точке *B* тахеометр вынимается из трегера и перемещается на точку *C*, а адаптер с отражателем перемещается на точку *B*. В то же время штатив с точки *A* переносится вперед, на точку *D*, после чего процесс измерений повторяется (см. рис. 16).

Измерение углов на пунктах полигонометрии производят способом отдельного угла, а при необходимости выполнить наблюдения по трем и более направлениям – способом круговых приемов.

В способе измерения отдельного угла алидаду в рамках приема вращают в одну сторону (что при круге лево (КЛ), что при круге право (КП) – по часовой стрелке). Во втором приеме вращение алидады осуществляется только против часовой стрелки.

В способе круговых приемов в первом полуприеме (при КЛ) алидаду вращают по часовой стрелке, а во втором полуприеме (при КП) – против

часовой. В прил. 6 приведен пример заполнения журнала измерения горизонтального угла способом отдельного угла.

Результаты измерений отдельных углов или направлений должны находиться в пределах допусков, указанных в табл. 9 [15].

Таблица 9

Допуски на результаты измерения отдельных углов или направлений

Основные элементы угловых измерений	СКП измерения горизонтального угла электронного тахеометра	
	2"	5"
Расхождение между значениями одного и того же угла, полученного из двух полу-приемов	8"	12"
Колебание значений угла, полученных из разных приемов	8"	12"
Расхождение между результатами наблюдений на начальное направление в начале и конце полуприема	8"	12"
Колебание значений направлений, приведенных к общему нулю в отдельных приемах	8"	12"

Длины сторон в ходах полигонометрии измеряются электронными тахеометрами. При коротких сторонах полигонометрического хода (до 500 м) достаточно выполнять измерение расстояний дважды при каждом положении вертикального круга, т. е. два значения при КЛ и два при КП. Расхождение между полученными значениями не должно превышать 3–4 мм. В обработку принимается среднее арифметическое. Также следует иметь в виду, что длина каждой стороны хода измеряется в прямом и обратном направлениях. При выполнении линейных измерений необходимо учитывать влияние метеорологических условий, что осуществляется путем введения поправок:

$$\left. \begin{aligned} \delta_T &= k_T \cdot \Delta_T \cdot D; \\ \delta_P &= k_P \cdot \Delta_P \cdot D, \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

где δ_T – поправка в длину D измеряемой линии за температуру;

δ_P – поправка в длину D измеряемой линии за давление;

Δ_T и Δ_P – отличие фактической температуры и атмосферного давления от средних метеорологических условий ($T = +10\text{ }^\circ\text{C}$, $P = 750\text{ мм}$) соответственно.

В формуле (13) коэффициенты k_T и k_P характеризуют степень влияния метеопараметров на длину измеряемой линии. Примерные их значения равны $k_T = +1,0\text{ ppm}/1\text{ }^\circ\text{C}$ и $k_P = -0,4\text{ ppm}/1\text{ мм. рт. ст.}$. Иными словами, с увеличением температуры воздуха на $1\text{ }^\circ\text{C}$ следует ввести поправку 1 мм/км , а с увеличением давления на 1 мм рт. ст. дополнительная поправка составит $-0,4\text{ мм/км}$. При измерении больших расстояний (более 1 км) или при значительных перепадах высот значения метеорологических параметров в начальной и конечной точках измеряемой линии могут заметно отличаться. В таких случаях температуру и давление измеряют на концах измеряемой линии, а в тахеометр вводят осредненные значения [28].

Таким образом, для точного измерения расстояний необходимо вводить в тахеометр корректные значения температуры воздуха и атмосферного давления, при этом поправки в измеренные расстояния вводятся автоматически. Обычно метеопараметры указывают в разделе меню тахеометра EDM (Electronic Distance Measurement – электронное измерение расстояния).

4.4. Обработка результатов измерений в программном продукте «КРЕДО ДАТ»

Программный продукт «КРЕДО ДАТ» позволяет выполнять камеральную обработку традиционных геодезических измерений и результатов постобработки спутниковых измерений разных классов точности в выбранной системе координат с возможностью учета модели геоида и комплекса редуцированных поправок. При обработке результатов измерений в данном программном продукте можно руководствоваться следующими методическими указаниями [29].

Обработка результатов измерений в программном продукте «КРЕДО ДАТ» состоит из следующих этапов (рис. 18) [30]:

- настройки проекта, в котором будет производиться обработка измерений;

- импорт измерений в автоматическом или ручном режимах;
- ввод координат и высот исходных пунктов, а также дирекционных углов;
- предобработка и уравнивание результатов измерений;
- выдача отчетных материалов.

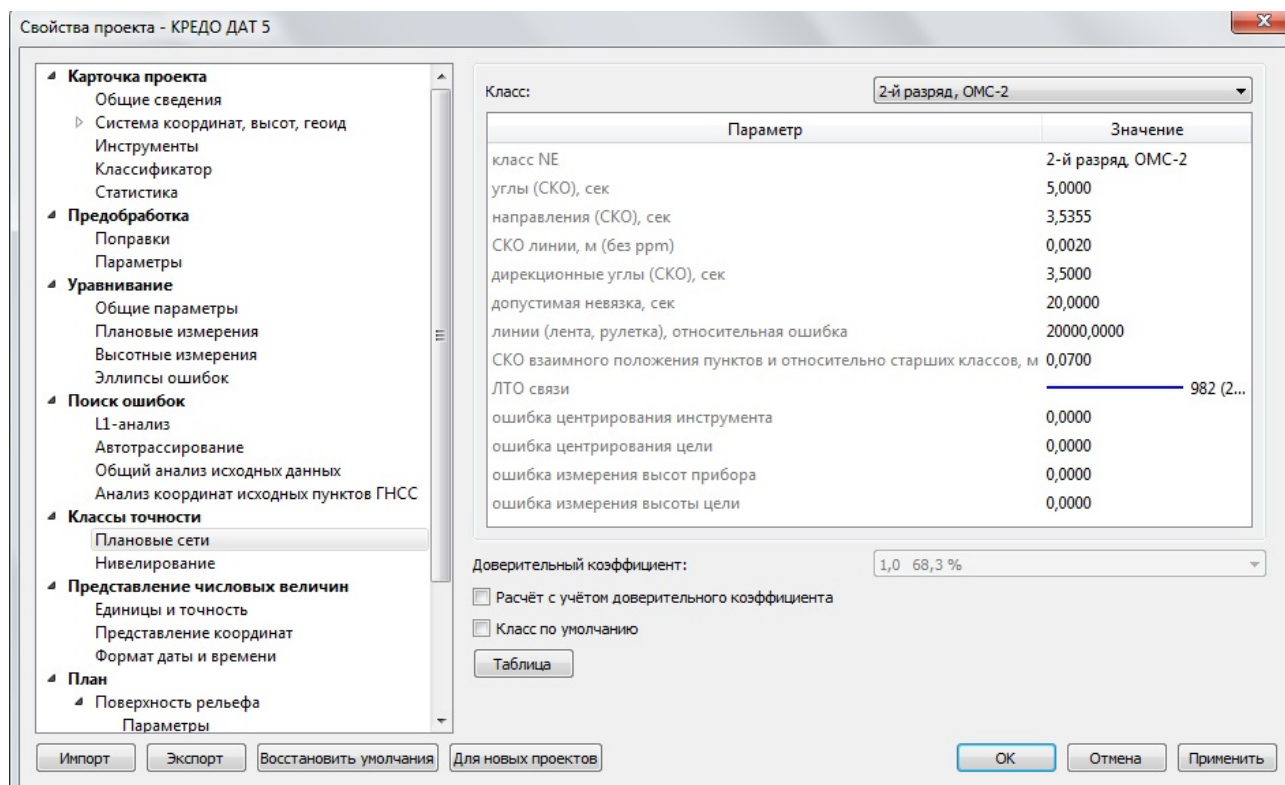


Рис. 18. Задание фактических средних квадратических ошибок (СКО) измерения элементов сети в окне **Свойства проекта**

Настройка проекта выполняется в окне **Свойства проекта** (команда **Файл / Свойства проекта**). В данном диалоговом окне имеются разделы: **Карточка проекта**, **Предобработка**, **Уравнивание**, **Поиск ошибок**, **Классы точности**, **Представление числовых величин**, **План**, **Сетки**. В каждом из перечисленных разделов могут задаваться пользовательские настройки с учетом особенностей конкретного объекта и применяемого геодезического оборудования.

В подразделе **Инструменты** необходимо выбрать формулу для расчета вертикального угла с учетом формата отображения углов в тахеометре

(угол наклона или зенитное расстояние). В разделе **Классы точности** для плановых сетей установить 2-й разряд точности, при этом указать значения СКП измерения углов и линий в соответствии с паспортной точностью применяемого тахеометра (см. рис. 18). Для нивелирования указать класс **Триг. Нив. (РК)**, значения параметров можно оставить по умолчанию.

В подразделе **Единицы и точность** устанавливаются: расстояния – до 0,001, превышение – до 0,0001, отметки – до 0,001, угловые величины – до 1", координаты и высоты – до 0,001.

После задания пользовательских значений в диалоговом окне **Свойства проекта** необходимо их сохранить путем нажатия кнопки **Применить** или **ОК**. Для сохранения проекта выбирают команду меню **Файл / Сохранить как...** и присваивают имя файлу по принципу «Практика_Фамилия_Группа».

Далее производится настройка окон программы. Выбирают команду **Вид** в верхнем меню и в появившемся списке активируют необходимые для дальнейшей работы окна и таблицы. В частности, для ввода данных и отображения полигонометрического хода необходимо активировать команды: **План, Пункты ПВО, Дирекционные углы, Станции, Измерения ПВО**.

Импорт измерений в автоматическом или ручном режимах. Ввод исходных данных и ввод измерений по полигонометрическому ходу с клавиатуры (ручной режим) выполняется во вкладки табличного редактора **Пункты ПВО, Дирекционные углы, Станции, Измерения ПВО**.

Ввод измерений может производиться автоматически при передаче данных непосредственно из электронного тахеометра путем импорта файла измерений. Для этого с официального сайта «КРЕДО ДИАЛОГ» необходимо предварительно скачать модуль импорта данных. Указанные модули разработаны для тахеометров разных производителей с учетом версии программы «КРЕДО ДАТ».

После завершения ввода данных необходимо выполнить контроль, т. е. произвести считку введенных данных с данными, которые записаны в полевом журнале.

Ввод координат и высот исходных пунктов, а также дирекционных углов выполняется в ручном режиме в соответствующих таблицах **Пункты ПВО** и **Дирекционные углы**. Для того чтобы указать, что введенные ко-

ординаты пунктов в таблице **Пункты ПВО** являются исходными, необходимо в столбцах **Тип NE** и **Тип H** изменить значение с рабочего на исходный.

Предобработка и уравнивание результатов измерений. Уравнивание полигонометрического хода производится с помощью команды меню **Расчеты** и выполняется в три этапа:

- 1 этап: **Расчеты / Предобработка**;
- 2 этап: **Расчеты / Поиск ошибок / L₁-анализ**;
- 3 этап: **Расчеты / Уравнивание / Расчет**.

Первый этап – предварительная обработка данных (предобработка) является обязательным подготовительным этапом перед уравниванием. На этом этапе определяются невязки и предварительные (приближенные) координаты. Для запуска предобработки необходимо в меню **Расчеты** выбрать команду **Предобработка / Расчет**. При обнаружении программой грубых ошибок ввода данных (измерений) формируется **Протокол**, который можно посмотреть в меню **Расчеты** по команде **Предобработка / Протокол**.

Второй этап – выявление грубых ошибок измерений; для этого в системе реализована технология поиска, локализации и нейтрализации грубых ошибок. Поиск начинают с выполнения L₁-анализа, что позволит сразу установить источник ошибки. Для выполнения L₁-анализа в меню **Расчеты** выбираем команду **Поиск ошибок / L₁-анализ**. При наличии грубых ошибок создается **Ведомость**, которую можно посмотреть в меню **Ведомости**, выбрав команду **Поиск ошибок измерений / Ведомость L₁-анализа (по ходам)**.

Третий этап – уравнивательные вычисления, для этого в меню **Расчеты** выбирают команду **Уравнивание / Расчет**. На схеме полигонометрического хода должны появиться эллипсы ошибок. Для просмотра численных показателей уравнивания можно посмотреть соответствующий **Протокол**, который открывается по команде **Расчеты / Уравнивание / Протокол... .**

Выдача отчетных материалов. В программе «КРЕДО ДАТ» после уравнивания могут быть сформированы различные ведомости, отражающие технические характеристики геодезических построений, СКП измерений и другие численные параметры. По команде **Ведомости / Шаблоны...**

можно перейти к перечню шаблонов различных ведомостей, внешний вид которых при необходимости корректируется в **Редакторе шаблонов** (шрифт, выравнивание текста, размер ячеек в таблицах ведомостей и т. д.).

По результатам уравнивания полигонометрического хода необходимо сформировать следующие ведомости:

- ведомость координат;
- ведомость оценки точности положения пунктов;
- ведомость оценки точности сети;
- ведомость поправок;
- ведомость оценки точности измерений в сети;
- технические характеристики сети;
- ведомость тригонометрического нивелирования;
- характеристики ходов тригонометрического нивелирования.

Полученные ведомости при необходимости корректируются (удаляются пустые столбцы, изменяется размер шрифта и пр.). Информация из ведомостей может использоваться в текстовой части отчета по учебной практике.

Для сохранения каждой ведомости необходимо в меню **Файл** выбрать команду **Сохранить как...**, после чего указать имя файла с расширением *.rtf и место его сохранения.

Графические документы в системе «КРЕДО ДАТ» выпускаются в виде стандартных листов чертежей с рамкой, оформленных по ГОСТ, либо в виде планшетов или номенклатурных листов карт.

Выпуск графических документов состоит из трех этапов:

- подготовительный этап, выполняемый в проекте *.GDS4, в процессе которого определяется состав необходимой на чертеже информации, задается масштаб;
- выпуск документа (чертежа, планшета или листа карты), его оформление и редактирование;
- отправка на печать либо экспорт в другие форматы (*.dxf, *.pdf, *.svg).

5. СОЗДАНИЕ ВЫСОТНОЙ СЪЕМОЧНОЙ СЕТИ МЕТОДОМ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ III КЛАССА

5.1. Содержание этапа практики

Закрепление практических навыков нивелирования III класса обучающиеся получают в бригадах. Каждая бригада прокладывает нивелирный ход по закрепленным на местности точкам полигонометрического хода 2-го разряда. Отметки исходных реперов и их расположение для каждой бригады указывает руководитель практики.

Нивелирование выполняется в соответствии с инструкцией [7] и настоящим учебным пособием.

В ходе рекогносцировки нивелирной линии определяется приблизительное число станций. Каждый член бригады должен выполнить измерения по программе нивелирования III класса минимум на одной станции.

Весь объем нивелирных работ можно разделить на следующие этапы:

- подготовительный этап (поверки и исследования нивелира с компенсатором и шашечных реек);
- полевой этап (производство нивелирования III класса);
- камеральный этап (обработка полевых журналов, уравнивание результатов измерений в программном продукте «КРЕДО ДАТ» или «КРЕДО НИВЕЛИР»).

5.2. Производство геометрического нивелирования III класса

Традиционно отметки точек съемочного обоснования определяют из проложения высотных ходов технической точности. В рамках учебной практики прокладывается нивелированный ход III класса, что необходимо для обеспечения научно-исследовательской работы (см. разд. 8).

Нивелирование III класса выполняют в прямом и обратном направлениях способом «средней нити» или «совмещения». При нивелировании

применяют трехметровые двухсторонние шашечные рейки с сантиметровыми делениями (как правило, цельные). Применение телескопических реек на дюралюминиевой основе допускается при соответствующем метрологическом обосновании.

После приведения нивелира в рабочее положение придерживаются следующего порядка наблюдений на станции:

- отсчеты по черной стороне задней рейки;
- отсчеты по черной стороне передней рейки;
- отсчет по красной стороне передней рейки;
- отсчет по красной стороне задней рейки.

При визировании на черные стороны реек отсчеты берутся по средней нити, а также по верхней и нижней дальномерным нитям. По красным сторонам реек берутся только отсчеты по средней нити. Результаты наблюдений на станциях записывают в журнал установленной формы.

Нормальной считается длина визирного луча – 75 м. Расстояние от нивелира до реек можно измерять дальномером. Неравенство плеч на станции допускают не более 2 м, а их накопление по секции – не более 5 м. Высота визирного луча над подстилающей поверхностью должна быть не менее 0,3 м.

В качестве переходных точек используют костыли или башмаки. Если ход прокладывается по местности, заросшей травой, то в местах установки башмаков необходимо предварительно снять дерн. Рейки на переходные точки устанавливаются в отвесное положение по круглому уровню.

На каждой станции выполняют контроль наблюдений:

- отсчет по средней нити по черной стороне каждой рейки не должен отличаться более чем на 3 мм от соответствующей полусуммы отсчетов по дальномерным нитям;
- расхождение между значениями превышения, полученными по черным и красным сторонам реек, не должно быть более 3 мм (с учетом разности высот нулей пары реек).

При несоблюдении указанных допусков наблюдения на станции повторяют, предварительно изменив высоту прибора не менее чем на 3 см.

Нивелирование III класса может выполняться цифровым нивелиром в комплекте с штрих-кодовыми нивелирными рейками. Например, резуль-

татов высокой точности можно добиться с применением нивелира Trimble DiNi 0.7 и комплекта инварных реек. Поскольку указанные рейки являются односторонними, с целью осуществления контроля на станции превышение рекомендуется измерять в два горизонта. Для независимости измерений перед вторым определением превышения желательно переставить ножки штатива.

По окончании нивелирования выполняют контрольные вычисления. Значения превышения между реперами из прямого и обратного ходов не должны различаться более $\pm 10 \text{ мм} \sqrt{L}$. Невязки в полигонах и по линиям также не должны превышать $\pm 10 \text{ мм} \sqrt{L}$. По мере завершения нивелирования по секциям (между реперами и узловыми точками) заполняют ведомость превышений установленной формы [7].

5.3. Обработка результатов нивелирования III класса

Уравнивание результатов нивелирования III класса может производиться как вручную, так и с применением специализированных программных продуктов («КРЕДО НИВЕЛИР», «КРЕДО ДАТ» и др.).

Программный продукт «КРЕДО НИВЕЛИР» предназначен для обработки результатов измерений:

- выполненных по программе геометрического нивелирования I, II, III и IV классов;
- технического и высокоточного инженерного нивелирования, в том числе на основе данных, получаемых из файлов цифровых нивелиров.

Обработка в программном продукте «КРЕДО НИВЕЛИР» выполняется в несколько этапов [30]:

- настройки проекта, в котором будет производиться обработка измерений;
- импорт измерений в автоматическом или ручном режимах;
- ввод координат и высот исходных пунктов;
- предобработка и уравнивание результатов измерений;
- выдача отчетных материалов.

Конкретный порядок действий при работе с программой «КРЕДО НИВЕЛИР» зависит от версии программы и формата исходных данных

(файл цифрового нивелира или полевой журнал нивелирования). Более подробные сведения о работе в программе «КРЕДО НИВЕЛИР» можно получить из публикации [31] или из обучающих видео, доступных на видеохостинге YouTube (<https://youtu.be/IOdIrftSiIs>, <https://youtu.be/m2bN2ZYMyKA>).

По результатам обработки материалов нивелирования III класса в программе «КРЕДО НИВЕЛИР» следует сформировать следующие отчетные ведомости:

- ведомость превышений и высот пунктов;
- характеристики нивелирных линий;
- ведомость оценки точности высот пунктов;
- ведомость поправок;
- технические характеристики сети.

6. ПОЛЕВОЕ ТРАССИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

6.1. Содержание этапа практики

Каждой бригаде в рамках данного этапа практики следует определить на местности ось трассы автомобильной дороги длиной 1–1,5 км с двумя углами поворота. Точки начала и конца трассы автомобильной дороги выдаются бригаде руководителем практики на спутниковом снимке. В ходе рекогносцировки трассу делят на секции по числу обучающихся в бригаде. Разбивку поперечников в обе стороны от оси трассы планируют в пределах каждой секции.

Точность определения планово-высотного положения пикетажных и плюсовых точек, точек на профилях и круговых кривых принимают в соответствии с масштабом и высотой сечения создаваемого инженерно-топографического плана согласно [13] (пп. 5.1.17–5.1.18).

В состав работ при полевом трассировании прохождения оси трассы входят:

- рекогносцировочное обследование участков прохождения трассы;
- разбивка пикетажа и поперечников;
- подготовка материалов, разбивка главных точек круговой кривой и вынос пикетов на кривую;
- нивелирование трассы и поперечников, создание продольного и поперечных профилей;
- тахеометрическая съемка полосы отвода трассы и создание инженерно-топографического плана трассы.

Распределение времени выполнения каждого этапа работ определяется рабочей программой учебной практики.

6.2. Рекогносцировка трассы

Полевое трассирование линейных сооружений начинают с рекогносцировки, при которой изучают состояние геодезической основы и полосы

трассы. Начальная и конечная точка трассы указывается руководителем практики. При рекогносцировке обследуют местность вдоль предполагаемой оси трассы, намечая направление так, чтобы она проходила по местности с отчетливо выраженным рельефом.

Начало, вершины углов поворота и конец проектируемой трассы закрепляют на местности кольями, верхний край которых располагают не выше уровня поверхности земли. Кроме того, на местности могут закрепляться участки переходов через препятствия и прямолинейные участки в пределах прямой видимости (но не реже чем через 1 км) между смежными точками. На каждую закрепленную точку составляют абрис с указанием ее положения относительно долговременных местных предметов [10].

В вершине угла поворота трассы Θ одним полным приемом измеряют правые по ходу горизонтальные углы β . Углом поворота трассы Θ называется угол между продолжением предыдущего и последующим направлением трассы. При этом, если значение измеренного угла β меньше 180° , то угол поворота трассы будет правый, а если угол β больше 180° , то угол поворота будет левый:

$$\begin{aligned}\theta_{\text{пр}} &= 180^\circ - \beta; \\ \theta_{\text{лв}} &= \beta - 180^\circ.\end{aligned}\tag{14}$$

При необходимости одновременно с измерением горизонтальных углов проводят вешение линий между вершинами углов поворота для обеспечения их сохранности до начала строительства [10].

6.3. Разбивка пикетажа и поперечников

По завершении рекогносцировки начинают разбивку пикетов по оси трассы через каждые 100 м. Началу трассы соответствует пикет ПК0. Пикеты закрепляют двумя деревянными колышками. Один из них забивают вровень с землей так, чтобы установленная на него нивелирная рейка не касалась земли, его называют точкой. Второй, длиной около 40 см, забивают в землю на половину его длины на расстоянии примерно в 20 см от точки по направлению хода, и называют сторожкой. На сторожке под-

писывается номер пикета и номер бригады, его используют для отыскания пикетов на местности.

Характерные точки перегиба рельефа местности, точки пересечения трассы с препятствиями (овраги, ручьи и т. п.) и инженерными сооружениями (дорогами, подземными и наземными коммуникациями) закрепляют колышками, отмечая «плюсовые точки». Между пикетами может находиться любое количество плюсовых точек. На сторожке плюсовой точки подписывают номер заднего пикета и добавляют к нему расстояние до точки (ПК 4 + 32,48).

Разбивка пикетажа и закрепление трассы на участке автомобильной дороги с применением электронного тахеометра выполняется с закрепленных пунктов съемочного обоснования, которое используется в качестве геодезической разбивочной основы.

Тахеометр устанавливают на начальную точку трассы, совмещенную с пунктом съемочного обоснования, и приводят в рабочее положение. В текущем проекте тахеометра должны быть введены вручную или импортированы уравнированные координаты пунктов съемочного обоснования и опорной геодезической сети, относительно которых будет производиться вынос оси трассы.

В меню тахеометра выполняют установку станции (указывают координаты точки стояния, высоту прибора и выбирают точку для ориентирования прибора). Обычно прибор ориентируют по точке с известными координатами (в данном случае – пункт ОГС или точка съемочного обоснования). В меню прибора указывается высота отражателя, после чего зрительная труба наводится на отражатель, установленный помощником в отвесное положение на пункте ОГС. Клавишей прибора активируется команда **ВСЕ**, в результате выполняется измерение расстояния, фиксация отсчетов по горизонтальному и вертикальному кругам и запись указанных величин в память прибора. Этими действиями завершается процесс подготовки тахеометра к работе.

В главном меню прибора присутствуют программы: съемка, разбивка, базовая линия, точки COGO и др., в зависимости от комплектации прибора. Встроенное программное обеспечение большинства электронных тахеометров позволяет осуществлять вынос в натуру точки по известным коор-

динатам с отображением на дисплее разных элементов разбивки: угла и расстояния (рис. 19, а), смещения вдоль и поперек створа (рис. 19, б), а также по смещениям Δx и Δy вдоль координатных осей (рис. 19, в).

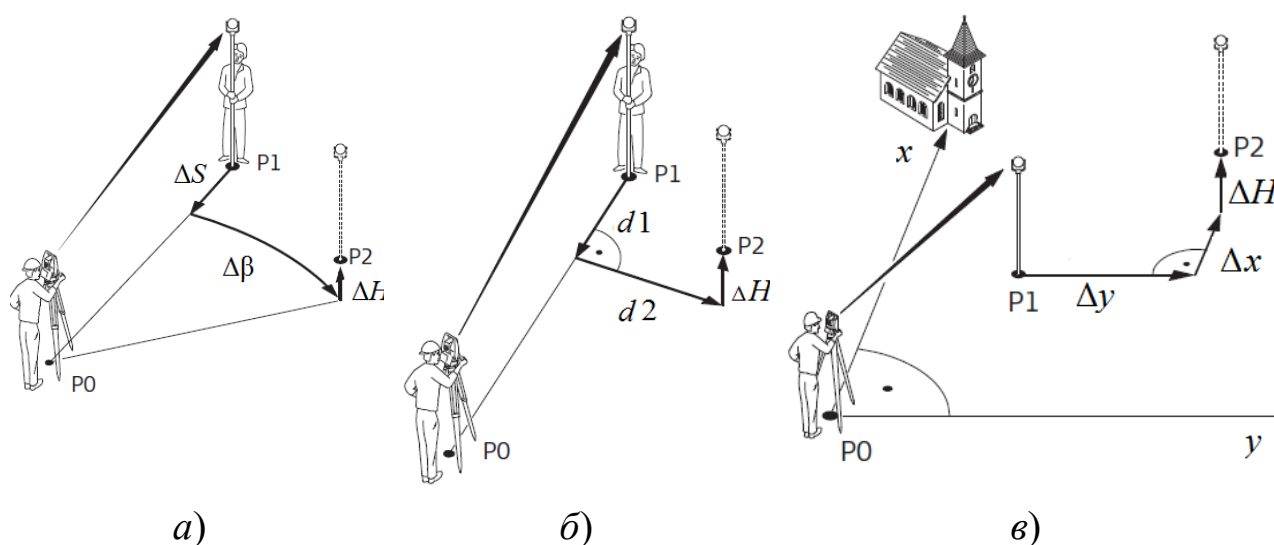


Рис. 19. Способы отображения данных при выносе точки в натуру:

а) полярных координат; б) перпендикуляров; в) прямоугольных координат

Кроме того, отдельные виды тахеометров имеют специализированные подпрограммы для измерений и выноса в натуру точек дорожных проектов относительно заданных элементов. В этом случае вводят с клавиатуры, измеряют или выбирают из памяти проекта начальную и конечную точки разбиваемого элемента. Затем задают способ пикетажа **РАЗБИВКА** – для выбора точки и смещения (по оси трассы, вправо, влево) и начала измерений. Текущее положение точки и ее сдвиг будет отражаться на дисплее. О необходимом смещении отражателя сообщают помощнику, контролируя его нахождение на оси линейного сооружения и удаление на 100 м или до характерной точки местности для фиксации плюсовых точек.

В характерных местах рельефа (на косогорах, где поперечные уклоны круче 1 : 10) перпендикулярно к направлению трассы разбивают поперечные профили длиной по 20 м в обе стороны от оси. Этот этап также можно сделать из подпрограммы трассирования или используя встроенные функции сдвигов в приложении COGO (координатная геометрия). Точки на по-

перечниках закрепляют так же, как и пикеты, а на сторожках подписывают расстояние от оси трассы с пометкой «право» или «лево» относительно расположения точки от оси трассы.

После того как пикеты трассы вынесены, производится исполнительная съемка для контроля геодезической разбивки.

6.4. Подготовка материалов, разбивка главных точек круговой кривой и вынос пикетов на кривую

В каждой вершине угла поворота (ВУ) по измеренному горизонтальному углу β вычисляют угол поворота трассы Θ (рис. 20). Поскольку для получения практических навыков полевого трассирования на местности разбивается внекатегорийная дорога, обучающиеся подбирают радиус круговой кривой, максимально соответствующий углу поворота трассы.

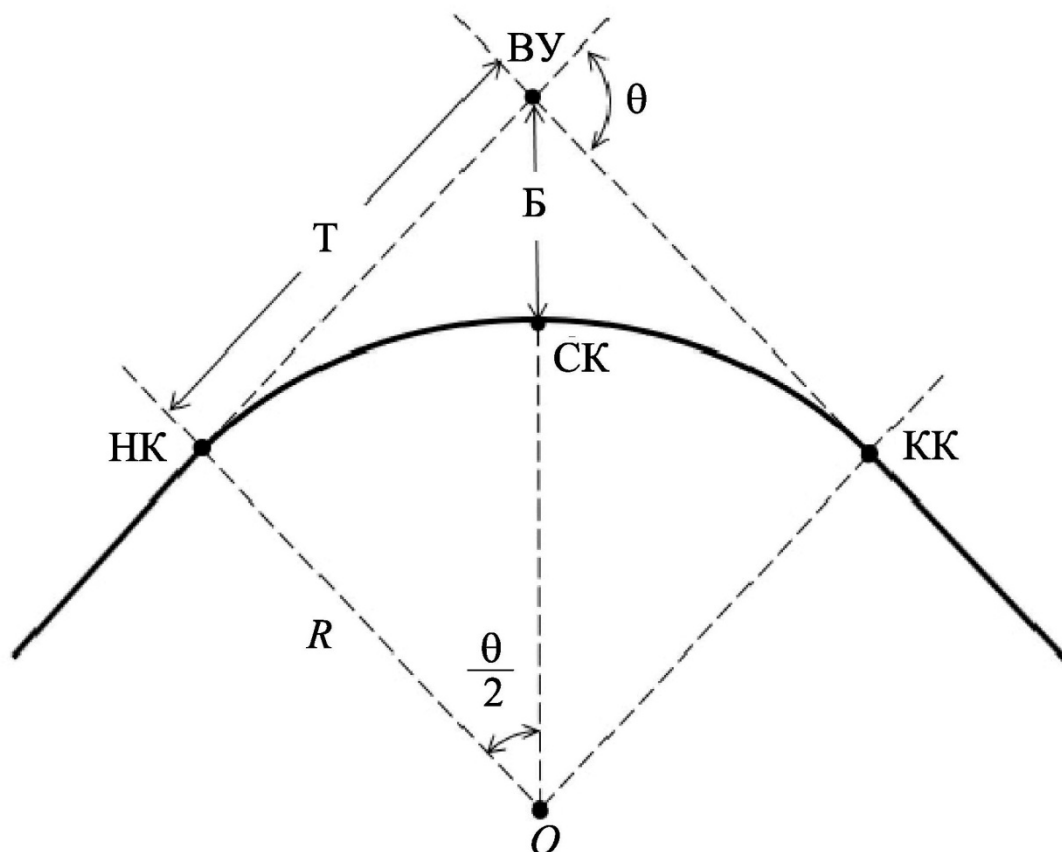


Рис. 20. Главные точки и элементы круговой кривой

Вычисление элементов круговой кривой Т (тангенс), Д (домер), К (длина кривой), Б (биссектриса) выполняется по формулам (1.3) из [32] на основании выбранного радиуса круговой кривой R и угла поворота трассы Θ .

Главными элементами круговой кривой, выносимой на местность трассы, являются начало круговой кривой (НК), середина кривой (СК) и конец круговой кривой (КК). Начало и конец кривой на местности получают отложением от вершины угла в соответствующую сторону величины тангенса Т. Для выноса середины кривой СК угол, дополняющий угол поворота трассы до 180° , делят пополам и по этому направлению откладывают величину биссектрисы Б.

На местность выносят главные точки кривой и закрепляют кольшками со сторожками. Подпись пикета вершины угла поворота трассы складывается из номера последнего целого пикета и измеренного расстояния до вершины угла (например ПК ВУ1 = ПК 7 + 80,00 м). Далее выполняется расчет пикетажных обозначений главных точек кривой по формулам (1.4) с обязательным контролем по формулам (1.5) из [32].

Вынос пикетов с тангенсов на кривую выполняется способом прямоугольных координат. Детальная разбивка кривой производится также способом прямоугольных координат.

Дальнейшая разбивка пикетажа допускается только после завершения расчетов, закрепления на местности главных точек и пикетов, детальной разбивки кривой на каждой вершине угла поворота и выноса пикетов на кривую.

6.5. Нивелирование трассы

На трассе линейного сооружения после разбивки методом технического нивелирования получают отметки всех пикетных точек, начала, середины и конца кривой, плюсовых точек и точек поперечных профилей. Начало трассы (ПК0) привязывается к ближайшему реперу нивелирной сети или к пункту ОГС, отметки которых были получены геометрическим нивелированием ранее. Нивелирование трассы производят поверенным нивелиром и двухсторонними рейками способом из середины. Расстояние

от нивелира до реек принимается в среднем равным 50 м. В прямом ходе определяют отметки всех точек трассы, в обратном – только пикетов [1].

На точке начала трассы (ПК0) устанавливают нивелир и приводят его в рабочее положение. Задняя рейка устанавливается на ближайшей точке ОГС, а передняя последовательно переставляется на ПК1, плюсовые точки и точки поперечников. Затем нивелир переносят на следующий четный пикет (ПК2), рейка на ПК1 становится задней, а на ПК3 – передней.

При нивелировании особое внимание следует обратить на выбор *связующих точек*, т. е. точек, через которые в ходе передаются превышения. Если позволяют условия местности, то связующие точки выбирают через пикет (например, только четные пикеты). На связующих точках отсчеты берутся по черной и красной сторонам рейки с точностью до 1 мм, на промежуточных – только по черной стороне. Расхождения в превышениях на станции, вычисленных из отсчетов по черным и красным сторонам реек, не должны превышать 5 мм [1].

Если превышение между этими точками больше длины рейки (3 м), то необходимо сократить длину плеч – расстояние от нивелира до реек. В этом случае в качестве связующих используют другие точки трассы. Если таких точек по трассе нет, то в качестве связующих используют *иксовые точки* (обозначают $X_1, X_2, \dots$). В иксовых точках при нивелировании устанавливают нивелирные башмаки или забивают костыли, а при их отсутствии – деревянные колышки. Расстояния до иксовых точек не измеряют. При выборе связующих точек не следует использовать наибольшую длину плеч, поскольку превышения между связующими точками могут оказаться более 3 м, и длину плеч нивелирования придется сокращать, затрачивая усилия и время [1].

При пересечении трассой дорог, рек, водоемов, насыпей и т. п. необходимо нивелировать характерные точки этих объектов с таким расчетом, чтобы на профиле можно было показать их поперечное сечение. Если трасса пересекает ЛЭП, в месте пересечения определяют высоту проводов над поверхностью, используя метод тригонометрического нивелирования.

Превышения в ходе измеряют по программе технического нивелирования. После отсчетов по задней и передней рейкам, контрольных вычислений и вычисления превышений реечник последовательно устанавливает

рейку на всех промежуточных точках, а исполнитель берет отсчеты по черной и красной сторонам.

Правильность отсчетов по рейкам на промежуточных точках контролируют по разностям нулей реек. Полученные величины разностей не должны отличаться от теоретического значения более чем на 4 мм. По мере заполнения полевого журнала производят постраничный контроль для превышений между связующими точками, а после окончания нивелирования вычисляют их отметки [1].

Отметки связующих точек выписывают в соответствующую графу журнала нивелирования и вычисляют горизонт прибора по черной и красной сторонам рейки. Его также записывают в журнал.

Отметки промежуточных точек определяют с использованием горизонта прибора, вычисленного по красной и черной сторонам, средние значения отметок вычисляют с округлением до 0,01 м.

Обработку нивелирного хода выполняют по стандартной технологии в специализированном ПО (например, «КРЕДО НИВЕЛИР») [31].

7. ТАХЕОМЕТРИЧЕСКАЯ СЪЕМКА ПОЛОСЫ ОТВОДА ТРАССЫ В МАСШТАБЕ 1 : 500

7.1. Содержание этапа практики

Практику по выполнению тахеометрической съемки в масштабе 1 : 500 обучающиеся проходят в бригадах, численность которых определяется руководителем практики. Каждая бригада выполняет съемку полосы отвода трассы шириной 50 м (по 25 м в стороны от оси) с точек полигонометрического хода 2-го разряда. Высота сечения рельефа принимается 0,5 м.

Съемка выполняется в соответствии с инструкцией [5] и настоящим учебным пособием.

Каждый обучающийся выполняет тахеометрическую съемку не менее чем на одной станции.

Весь объем работ по выполнению тахеометрической съемки полосы отвода трассы можно разделить на следующие этапы:

- подготовительный этап (поверки и исследования электронного тахеометра);
- выполнение тахеометрической съемки;
- обработка результатов измерений в программном продукте «КРЕДО ДАТ»;
- импорт обработанных результатов измерений в программный продукт «КРЕДО ТОПОПЛАН»;
- обработка материалов тахеометрической съемки в программном продукте «КРЕДО ТОПОПЛАН»;
- выдача на печать результатов тахеометрической съемки.

Следует обратить внимание, что создание топографического плана местности может выполняться не только в программном продукте «КРЕДО ТОПОПЛАН», но и в других специализированных программах (IndorCAD, Auto CAD Civil, «КРЕДО ЛИНЕЙНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ», «КРЕДО ТОПОГРАФ» и др.).

7.2. Порядок работы на станции при выполнении тахеометрической съемки

Тахеометрическую съемку полосы отвода трассы рекомендуется при прохождении учебной практики совмещать с разбивкой пикетажа и поперечников.

Порядок работы на точке съёмочной сети при выполнении тахеометрической съемки электронным тахеометром следующий:

- а) центрирование прибора на точке съёмочной сети и его горизонтирование;
- б) ввод в память прибора плановых координат и высоты точки съёмочной сети;
- в) измерение рулеткой высоты прибора над точкой и высоты отражателя, ввод их в память прибора;
- г) ввод в память прибора температуры воздуха и атмосферного давления, а также постоянной отражателя;
- д) выполнение ориентирования прибора. Для выполнения этой процедуры в меню тахеометра выбирают способ ориентирования «по координатам» (вводят в память прибора координаты смежной точки съёмочной геодезической сети – задней или передней), наводят зрительную трубу на точку ориентирования и выполняют измерения (контролем является сравнение измеренного расстояния до точки ориентирования и этого же расстояния из обратной геодезической задачи: расхождение не должно превышать нескольких миллиметров), после чего подтверждают завершение процесса ориентирования;
- е) производство съемки ситуации и рельефа способом полярных координат. Для выполнения этой процедуры помощник последовательно обходит снимаемый участок местности, выбирая точки, которые относятся к ситуации и рельефу, и поочередно устанавливает на них отвесно веху с отражателем. Наблюдатель наводится на отражатель, производит измерение тахеометром (в памяти прибора фиксируются отсчеты по горизонтальному и вертикальному кругам, а также наклонное расстояние до отражателя). Для контроля измерений с каждой съёмочной точки определяют несколько пикетов в полосе перекрытия съемки с других точек;

ж) в процессе съемки ведется абрис – схематический план снимаемого участка местности. На абрисе показывают все пикеты, ситуацию с пояснительными подписями или условными обозначениями, а также характерные формы рельефа и их структурные линии (тальвеги, водоразделы, перегибы скатов и пр). На абрисе рекомендуется схематично показывать основные формы рельефа горизонталями. Направление однообразного ската между пикетами показывают стрелкой [17]. Пример оформления абриса приведен в прил. 7;

и) по окончании работы на станции контролируют неподвижность прибора: отсчет по горизонтальному кругу при визировании на точку ориентирования не должен отличаться от первоначального более, чем на 20–30". Если с одной точки съемочной сети тахеометрическая съемка ведется продолжительное время (больше часа), то неподвижность прибора может контролироваться периодически.

7.3. Обработка материалов тахеометрической съемки

После завершения тахеометрической съемки в поле приступают к камеральной обработке измерений, которая включает следующие этапы:

- экспорт результатов съемки из тахеометра на компьютер;
- импорт данных в программный продукт «КРЕДО ДАТ» и их обработка (данный этап актуален, когда проложение хода и тахеометрическая съемка производятся одновременно, т. е. когда требуется выполнить уравнивание хода. Если съемка выполняется с точек съемочного обоснования, координаты которых получены после уравнивания, то этап импорта данных в «КРЕДО ДАТ» может быть пропущен);
- импорт результатов полевых измерений в специализированный программный продукт по созданию топографических планов («КРЕДО ТОПО-ПЛАН», IndorCAD и др.);
- создание цифровой модели местности (ЦММ) и формирование на ее основе топографического плана на полосу отвода трассы;
- выдача на печать топографического плана на полосу отвода трассы и при необходимости других графических документов, полученных на основе ЦММ (например, продольные и поперечные профили).

В качестве исходных данных для создания модели местности могут служить точки из текстовых файлов, импортированных с электронного тахеометра (файлы с расширением *.csv или *.txt). В специализированных программных продуктах (например, «КРЕДО ТОПОПЛАН») по полученным точкам с помощью специальных инструментов создается ЦММ, которая включает в себя цифровую модель рельефа (ЦМР) и цифровую модель ситуации (ЦМС).

Основой построения ЦМР являются пикетные точки, специально выбранные на местности в процессе тахеометрической съемки для наиболее корректного и детального отображения рельефа местности (обычно не все точки участвуют в построении ЦМР). Для правильного моделирования характерных форм рельефа (обрывы, откосы, водоразделы и т. д.) используются структурные линии. В системах «КРЕДО» цифровая модель рельефа представляет собой упорядоченное множество треугольных граней, построенное по алгоритму Делоне. Вершинами треугольных граней являются рельефные точки с координатами x, y, H . Они соединены ребрами триангуляции (рис. 21).

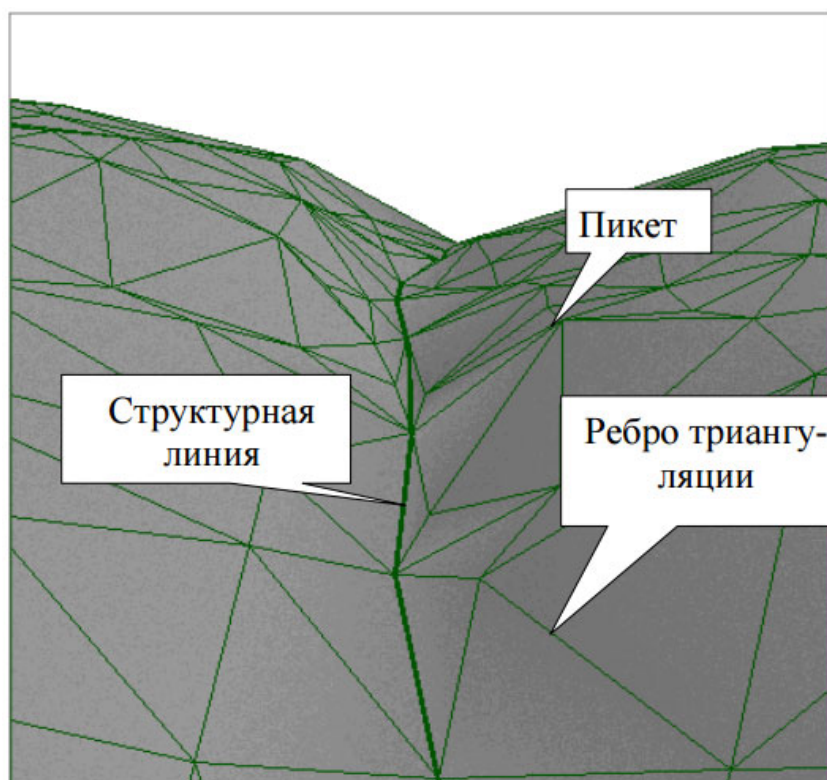


Рис. 21. Цифровая модель рельефа в виде триангуляции Делоне

На окончательном топографическом плане триангуляция Делоне не отображается, рельеф показывается привычным образом – в виде горизонталей с заданной высотой сечения рельефа и условными знаками откосов, обрывов и других форм рельефа при их наличии.

Следует помнить, что отрисовка горизонталей происходит алгоритмически, т. е. с использованием алгоритмов расчета интерполяционных и аппроксимационных сплайнов (в первом случае сплайн проходит строго через вычисленные программой вспомогательные точки на ребрах триангуляции, а во втором – на некотором удалении от этих точек, не превышающем заданного критерия). Из этого следует, что для корректирования горизонталей необходимо перестраивать ребра триангуляции или добавлять структурные линии, но не менять положение самой горизонтали.

В общем случае можно выделить следующие этапы моделирования рельефа:

- построение ЦМР (триангуляции) в слое с учетом структурных линий с одновременной настройкой отображения горизонталей;
- визуальный контроль созданной модели рельефа и редактирование элементов поверхности (рельефных точек, структурных линий), а также изменение положения ребер триангуляции для изменения положения горизонталей;
- оформление результатов моделирования: применение для отдельных участков поверхности различных стилей отображения (дополнительных или вспомогательных горизонталей, применение условных знаков откосов, обрывов, оврагов и т. д.) и создание бергштрихов и подписей горизонталей.

Цифровая модель ситуации формируется с помощью точечных, площадных и линейных топографических объектов на основе классификатора. Топографические объекты отображаются условными знаками в соответствии с текущим масштабом съемки (рис. 22). При создании объектов указывается не только их геометрия, но и задаются свойства – набор семантических характеристик, состав которых задан в классификаторе (например, для газопровода может быть указан владелец, диаметр трубы, материал трубы и другие сведения). Если не выполнялось полевое кодирование, то процесс создания ЦМС выполняется вручную на основе абриса и полевых записей.

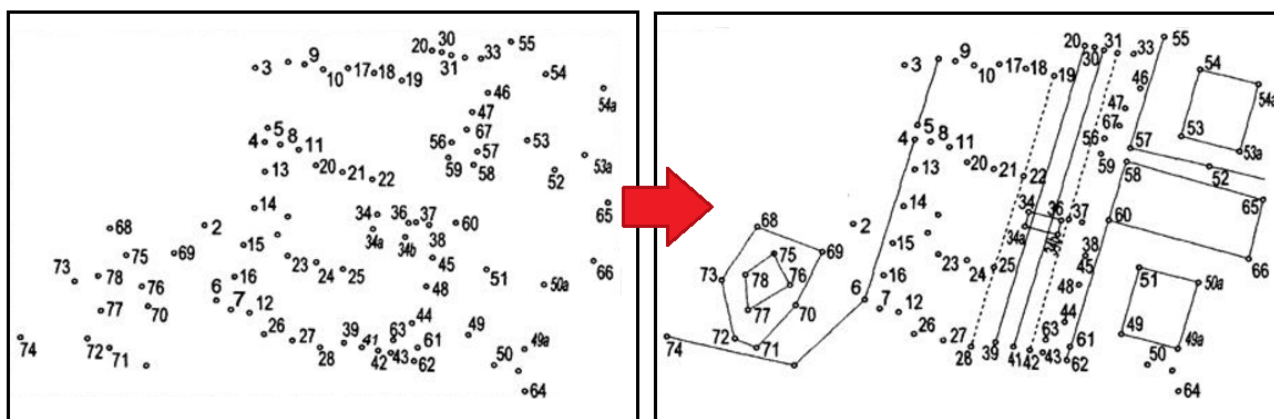


Рис. 22. Процесс создания ЦМС

Различные типы данных объединяются в тематические слои, например, такие объекты гидрографии, как озеро (площадной объект), ручей (линейный объект) и родник (точечный объект) будут располагаться в одном слое. Это обеспечивает удобство работы с ЦММ, позволяет отключать видимость временно ненужной информации. Кроме того, управлять видимостью можно в рамках одного слоя, например, в слое **Рельеф** можно показывать или скрывать пикетные точки, подписи точек, структурные линии и др.

Построенная ЦММ может служить основой для проектирования инженерных объектов. Например, в программе «КРЕДО ТОПОПЛАН» имеется функционал для создания профиля местности, который может использоваться при проектировании линейных сооружений или для нанесения на нем геологических слоев.

В настоящем пособии не приводятся детальных указаний по обработке данных тахеометрической съемки, поскольку допускается производить эту обработку в разных программных продуктах. Последовательность работы с конкретным программным продуктом и описание его интерфейса представлены в соответствующих руководствах пользователя. Дополнительно можно ознакомиться с руководствами пользователя на сайте <https://credo-dialogue.ru>, учебными пособиями [33, 34] и обучающими видео, доступными на видеохостинге YouTube (<https://youtu.be/Hji0U8yyvSE>).

8. НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА: СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО И ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ

8.1. Содержание этапа практики

По точкам хода полигонометрии 2-го разряда был проложен ход геометрического нивелирования III класса, кроме того, превышения между точками хода были определены из двустороннего тригонометрического нивелирования. Первый метод считается более точным, поэтому уравненные значения превышений из геометрического нивелирования следует принять в качестве опорных значений, с которыми будут сравниваться результаты тригонометрического нивелирования. Целью данной научно-исследовательской работы является определение абсолютных ошибок тригонометрического нивелирования и оценка возможности замены этим методом трудоемкого геометрического нивелирования.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие основные задачи:

- выполнить предрасчет точности двустороннего тригонометрического нивелирования и установить допуски на отклонения от результатов геометрического нивелирования;
- вычислить превышения между точками полигонометрического хода из одностороннего тригонометрического нивелирования с учетом поправок за кривизну Земли (для каждой стороны хода получить отдельно превышение в прямом и обратном направлении и найти разности $\Delta_{\text{пр-обр}}$ между ними);
- вычислить среднее значение из односторонних наблюдений по сторонам хода (получить результат двустороннего тригонометрического нивелирования), а также вычислить фактическую невязку хода;
- сравнить результаты двустороннего тригонометрического нивелирования с данными из геометрического нивелирования, полученные разности сопоставить с допустимыми значениями;

– на основании анализа материалов обработки тригонометрического нивелирования и сравнения его результатов с данными геометрического нивелирования сделать вывод о возможности применения тригонометрического нивелирования как самостоятельного метода создания высотного обоснования.

8.2. Методика выполнения двустороннего тригонометрического нивелирования

Сущность двустороннего тригонометрического нивелирования заключается в двукратном измерении превышения между точками хода 1 и 2: сначала в прямом (рис. 23, а), а затем, после перестановки местами тахеометра и визирной цели, – в обратном направлении (рис. 23, б).

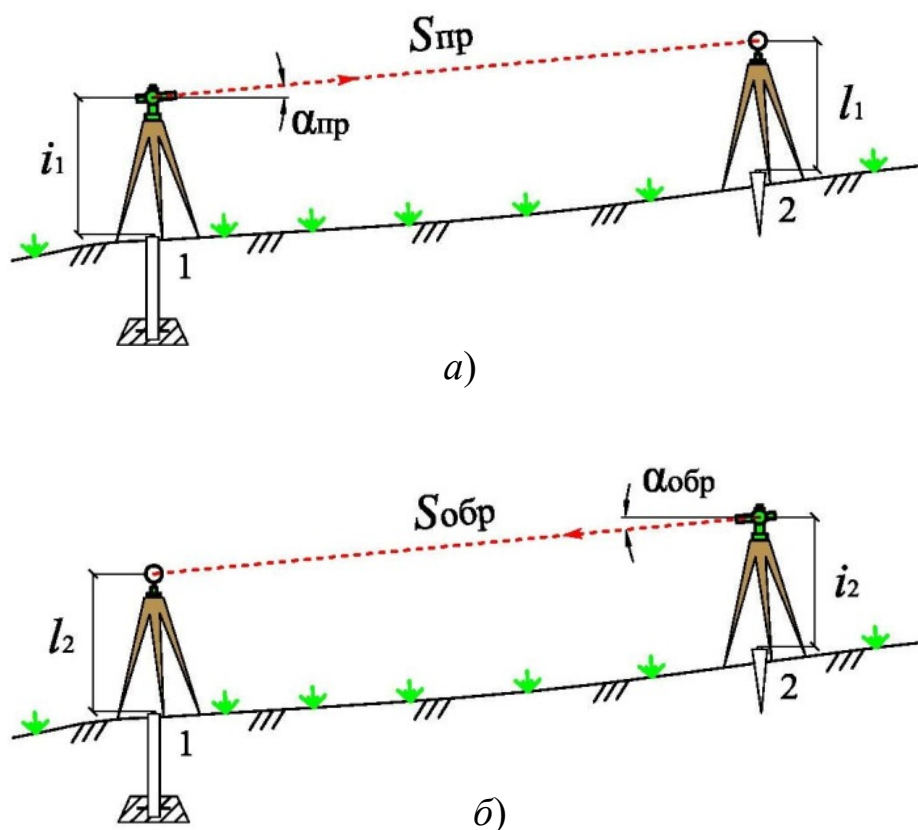


Рис. 23. Схема измерения превышений при работе по трехштативной системе:

а) в прямом направлении; б) в обратном направлении

Среднее значение двух полученных при этом превышений свободно от влияния кривизны Земли, а влияние рефракции в большей степени ослабляется.

Чем меньше интервал времени между измерениями в прямом и обратном направлениях, тем надежнее исключается рефракционная ошибка из результатов нивелирования.

Главным преимуществом двустороннего нивелирования является возможность его выполнения одновременно с созданием планового геодезического обоснования.

Превышение из одностороннего тригонометрического нивелирования (см. рис. 23, *а*) с учетом поправки за кривизну Земли находится по формуле

$$h_{\text{пр}} = S_{\text{пр}} \sin \alpha_{\text{пр}} + i_1 - l_1 + \frac{S^{\text{км}}}{2R^{\text{км}} \cos^2 \alpha_{\text{пр}}} S_{\text{пр}}, \quad (15)$$

где $S_{\text{пр}}$ – измеренное тахеометром расстояние до визирной цели (в прямом направлении);

$\alpha_{\text{пр}}$ – угол наклона при наведении трубы на визирную цель (среднее из значений при КЛ и КП);

i_1 – высота прибора;

l_1 – высота визирной цели;

$R^{\text{км}}$ – средний радиус Земли, выраженный в км ($R = 6\,371$ км);

$S^{\text{км}}$ – измеренное тахеометром расстояние, выраженное в км.

Аналогично по формуле (15) вычисляется превышение из одностороннего тригонометрического нивелирования в обратном направлении $h_{\text{обр}}$, при установке тахеометра над точкой 2 (см. рис. 23, *б*).

Превышение из двустороннего нивелирования $h_{\text{дв}}$ вычисляется как среднее значение результатов односторонних наблюдений:

$$h_{\text{дв}} = \frac{h_{\text{пр}} + h_{\text{обр}}}{2}. \quad (16)$$

Превышение $h_{\text{дв}}$ из двустороннего нивелирования между точкой 1 (репер) и точкой хода 2, закрепленной на местности колышком (рис. 23) также можно найти по формуле

$$h_{\text{дв}} = \frac{S_{\text{пр}} \sin \alpha_{\text{пр}} - S_{\text{обр}} \sin \alpha_{\text{обр}}}{2} + \frac{i_1 - i_2}{2} + \frac{l_2 - l_1}{2}, \quad (17)$$

где $S_{\text{пр}}$ и $S_{\text{обр}}$ – наклонные расстояния, измеренные соответственно в прямом и обратном направлениях;

$\alpha_{\text{пр}}$ и $\alpha_{\text{обр}}$ – углы наклона;

i_1 и i_2 – высота инструмента на точках 1 и 2 соответственно;

l_1 и l_2 – высота визирной цели, установленной на точках 1 и 2 соответственно.

В формуле (17) не учитывается влияние вертикальной рефракции, так как принимается допущение, что коэффициенты рефракции в направлении с точки 1 на точку 2 и в обратном направлении равны: $k_{1-2} = k_{2-1}$, т. е. среднее из значений превышения в прямом и обратном направлении в большей степени свободно от влияния рефракции. Допущение равенства коэффициентов рефракции справедливо при симметричности трассы и небольшом промежутке времени между измерениями прямо-обратно [35].

В практике инженерных работ известны случаи синхронных измерений вертикальных углов в прямом и обратном направлении способом визирования «труба в трубу» для расстояний от 500 до 750 м. Одновременные взаимные наблюдения позволяют значительно ослабить влияние вертикальной рефракции на точность передачи высоты [36].

Средняя квадратическая погрешность превышения, полученного из двустороннего тригонометрического нивелирования, определяется по формуле

$$m_{h_{\text{дв}}} = \sqrt{\sin^2 \alpha \cdot m_S^2 + \frac{S^2 \cdot m_\alpha^2}{2 \cdot \rho^2} + m_i^2 + m_l^2}, \quad (18)$$

где m_S – СКП измерения наклонного расстояния;

m_α – СКП измерения угла наклона полным приемом;

$\rho = 206\,265''$ – число секунд в радиане;

m_i – СКП измерения высоты прибора;

m_l – СКП измерения высоты визирной цели.

Если стороны в ходе двустороннего тригонометрического нивелирования примерно равны, то приближенная оценка точности передачи отметки может быть оценена по формуле

$$m_{h_{\text{ход}}} = m_{h_{\text{дв}}} \cdot \sqrt{n}, \quad (19)$$

где n – число сторон в ходе.

8.3. Обработка полевых материалов при сравнении результатов геометрического и тригонометрического нивелирования

Рассмотрим выполнение научно-исследовательской работы на конкретном примере. Между пунктами полигонометрии пп-1 и пп-3 был проложен одиночный ход полигонометрии 2-го разряда, состоящий из четырех точек (рис. 24). Отметки точек хода определялись из двустороннего тригонометрического нивелирования.

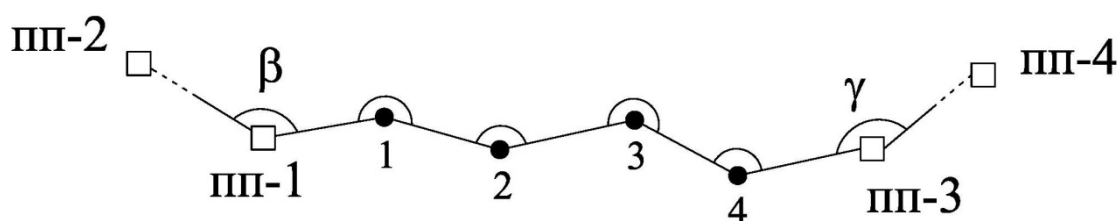


Рис. 24. Одиночный ход полигонометрии 2-го разряда

Выполним предрасчет точности определения превышения между смежными точками хода, полученного из двустороннего тригонометрического нивелирования по формуле (18), принимая среднюю длину стороны

хода $S_{\text{ср}} = 150$ м, угол наклона $\alpha = 5^\circ$ (всхолмленная местность), $m_S = 2$ мм, $m_\alpha = 5''$, $m_i = m_l = 1$ мм:

$$m_{h_{\text{дв}}} = \sqrt{0,03 + 6,61 + 1 + 1} = 2,9 \text{ мм.} \quad (20)$$

Из сопоставления слагаемых подкоренного выражения очевидно, что при малых углах наклона ($\alpha < 10^\circ$) влияние ошибки измерения расстояния m_S на точность тригонометрического нивелирования пренебрежимо мало.

Переходя от СКП к предельной ошибке, используем коэффициент $t = 2$, тогда допустимое расхождение $\Delta_{\text{доп}}$ между результатами двустороннего тригонометрического нивелирования и геометрического нивелирования для сторон длиной 150 м составит

$$\Delta_{\text{доп}} = m_{h_{\text{дв}}} \cdot t = 2,9 \cdot 2 = 5,8 \text{ мм} \approx 6,0 \text{ мм.} \quad (21)$$

В данном случае ошибками геометрического нивелирования пренебрегаем, считая, что разность Δ между результатами разных методов нивелирования обусловлена исключительно ошибками тригонометрического нивелирования.

По формуле (19) рассчитаем СКП передачи отметки в ходе, представленном на рис. 24:

$$m_{h_{\text{ход}}} = m_{h_{\text{дв}}} \sqrt{n} = 2,9 \sqrt{5} = 6,5 \text{ мм.} \quad (22)$$

Тогда допустимая высотная невязка $f_{\text{доп}}$ хода двустороннего тригонометрического нивелирования будет равна

$$f_{\text{доп}} = m_{h_{\text{ход}}} \cdot 2 = 6,5 \cdot 2 = \pm 13 \text{ мм.} \quad (23)$$

Теперь вычислим превышение между исходным пунктом пп-1 и точкой хода 1 (см. рис. 24), используя формулу (15), результаты поместим в табл. 10.

В табл. 10 величина K – поправка за кривизну Земли (в формуле (15) последнее слагаемое). Превышение $h_{\text{испр}}$ – это превышение с учетом высоты при-

бора и отражателя, а также поправки за кривизну Земли. Величина $\Delta_{\text{пр-обр}}$ обусловлена неизбежными погрешностями измерения превышений в прямом и обратном направлении, а также несимметричным влиянием вертикальной рефракции (или непостоянством коэффициента рефракции во времени). Величина $\Delta_{\text{пр-обр}}$ для коротких сторон (до 200 м), как правило, не превышает 20 мм. Вычисление разностей $\Delta_{\text{пр-обр}}$ позволяет проконтролировать выполненные в прямом и обратном направлении превышения и исключить грубые промахи. Аналогичным образом выполняются вычисления по остальным сторонам хода (1 – 2, 2 – 3, 3 – 4 и 4 – пп-3), которые заносятся в таблицу.

Таблица 10

Результаты вычисления превышения

Направление	S , м	Угол наклона α	i , м	l , м	$S \sin \alpha$, м	K , мм	$h_{\text{испр}}$, м	$\Delta_{\text{пр-обр}}$, мм
прямое пп-1 – 1	153,395	$5^{\circ} 36' 24''$	1,607	1,563	14,986	1,9	15,032	–4
обратное 1 – пп-1	153,402	$-5^{\circ} 38' 20''$	1,602	1,567	–15,073	1,9	–15,036	

На основании данных табл. 10 заполняется сводная табл. 11.

Таблица 11

Сравнение результатов двустороннего тригонометрического
и геометрического нивелирования

Сторона хода	$h_{\text{пр}}$, м	$h_{\text{обр}}$, м	$h_{\text{дв}}$, м	$h_{\text{Г}}$, м	Δ , мм	$\Delta_{\text{доп}}$, мм
пп-1 – 1	+15,032	–15,036	+15,034	+15,038	–4	± 6
1 – 2	–2,378	+2,382	–2,380	–2,377	–3	± 6
2 – 3	–5,917	+5,908	–5,912	–5,917	+5	± 6
3 – 4	+0,639	–0,649	+0,644	+0,646	–2	± 6
4 – пп-3	+1,714	–1,722	+1,718	+1,721	–3	± 6
Σ	+9,090	–9,117	+9,104	+9,111	–7	± 13

В табл. 11 должны соблюдаться контроли вычислений:

- $\Sigma h_{\text{дв}} = (\Sigma h_{\text{пр}} - \Sigma h_{\text{обр}}) / 2$;
- $\Sigma \Delta = \Sigma h_{\text{дв}} - \Sigma h_{\Gamma}$,

а также контроли, характеризующие качество выполненных измерений:

- $\Delta_i \leq \Delta_{\text{доп}}$;
- $f \leq f_{\text{доп}}$ ($-7 \text{ мм} < \pm 13 \text{ мм}$, условие выполняется).

Как следует из табл. 11, результаты двустороннего тригонометрического нивелирования отличаются от опорных значений (из геометрического нивелирования) на величину от -2 до $+5$ мм, что не превышает рассчитанного по формуле (21) допустимого значения ± 6 мм. Следовательно, измерения выполнены тщательно, а результаты согласуются с выполненным предрасчетом.

Фактическая невязка хода тригонометрического нивелирования, найденная по формуле

$$\begin{aligned} f &= \Sigma h_{\text{дв}} - (H_{\text{кон}} - H_{\text{нач}}) = \Sigma h_{\text{дв}} - (H_{\text{пп-3}} - H_{\text{пп-1}}) = \\ &= 9,104 - 9,111 = -0,007 \text{ м}, \end{aligned} \quad (24)$$

не превосходит допустимого значения $f_{\text{доп}} = \pm 13 \text{ мм}$.

Предполагая, что при средней длине стороны $S_{\text{ср}} = 150 \text{ м}$ на 1 км хода придется семь передач высоты ($n \approx 7$), можно приближенно рассчитать среднюю квадратическую погрешность на 1 км хода:

$$m_{h \text{ км}} = m_{h \text{ дв}} \sqrt{n} = 2,9 \sqrt{7} = 7,7 \text{ мм}. \quad (25)$$

Из формулы (25) следует, что расчетная СКП двухстороннего тригонометрического нивелирования на 1 км хода составляет $7,7 \text{ мм}$, в то время как случайная СКП на 1 км для нивелирования IV класса составляет $10,0 \text{ мм}$. Из этого можно сделать вывод, что двустороннее тригонометрическое нивелирование при средней длине визирного луча $S_{\text{ср}} = 150 \text{ м}$ может с успехом заменить геометрическое нивелирование IV класса.

Для выполнения научно-исследовательской работы обучающимся необходимо выполнить расчеты по формулам (15), (16), (18), (19), (21), (23)–(25).

В расчетах следует использовать значения m_α и m_S соответствующие применяемому оборудованию. Расстояние $S_{\text{ср}}$ принимается на основании данных полевых измерений или рекогносцировки. Результаты вычислений необходимо представить в табличной форме по аналогии с табл. 10 и 11. Выводы, полученные на основании данных научно-исследовательской работы, могут отличаться от выводов, полученных при рассмотрении примера (рис. 24).

9. ОФОРМЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ УЧЕБНОЙ ПРАКТИКИ: НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ

После окончания полевых и камеральных работ каждая бригада составляет свой технический отчет и предоставляет его руководителю практики для проверки. При оформлении технического отчета бригада придерживается требований СТО СГУГиТ [37].

В текстовой части отчета должны быть отражены следующие разделы:

- физико-географическое описание района работ с отражением погодных условий, которые имели место при выполнении полевых работ, и их влияние на производство работ;
- содержание и объем практики;
- создание ОГС спутниковым методом (поверки спутникового оборудования, каталоги координат пунктов ОГС в системах координат WGS-84 и местной системе координат полигона, схема расположения пунктов ОГС);
- создание плановой съемочной геодезической сети путем проложения полигонометрического хода 2-го разряда с использованием электронного тахеометра (поверки и юстировки электронного тахеометра, рекогносцировка и закрепление точек полигонометрического хода, методика проложения хода);
- создание высотного съемочного обоснования путем проложения нивелирного хода III класса (поверки и исследования нивелира с компенсатором и комплекта реек, методика проложения нивелирного хода III класса);
- математическая обработка результатов измерений (результаты обработки и уравнивания полигонометрического хода 2-го разряда, результаты обработки нивелирного хода III класса);
- методика выполнения полевого трассирования (разбивки пикетов и поперечников), подготовки данных для разбивки кривых, методика выноса основных точек и пикетов круговой кривой, нивелирования трассы;
- методика выполнения тахеометрической съемки (порядок работы на станции);

– методика обработки материалов тахеометрической съемки в специализированном программном продукте.

Примерный образец текстовой части технического отчета прилагается в материалах практики, выданных руководителем практики.

В приложениях к техническому отчету должны быть приведены оформленные, со всеми пояснениями, материалы:

- подписанный всеми обучающимися журнал по технике безопасности;
- материалы поверок и исследований электронного тахеометра;
- карточки закладки пунктов полигонометрии;
- журналы измерений горизонтальных, вертикальных углов и расстояний, полученных в полигонометрическом ходе;
- схема полигонометрического хода;
- материалы поверок и исследований нивелира и реек;
- журнал нивелирования III класса;
- схема нивелирного хода;
- журнал тахеометрической съемки с абрисами;
- ведомости обработки результатов уравнивания полигонометрического хода 2-го разряда, полученные в «КРЕДО ДАТ»;
- ведомости обработки результатов уравнивания нивелирного хода III класса;
- ведомость отметок пикетов и плюсовых точек;
- ведомость прямых и кривых;
- ведомость подготовки данных для детальной разбивки круговых кривых;
- схема и ведомость нивелирования трассы;
- продольные и поперечные профили трассы;
- ведомости обработки тахеометрии;
- распечатанный топографический план объекта.

После просмотра руководителем технического отчета в случае отсутствия серьезных замечаний назначается время зачета. В случае наличия грубых ошибок обучающиеся устраняют выданные замечания, и только после этого назначается время зачета.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учебное пособие «Учебная практика: научно-исследовательская работа» подготовлено доцентами кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела СГУГиТ, кандидатами технических наук Н. С. Косаревым, А. В. Никоновым, Е. К. Лагутиной в соответствии с требованиями федерального образовательного стандарта высшего образования и рабочей программой учебной практики: научно-исследовательская работа для обучающихся по направлению подготовки 21.05.01 Прикладная геодезия (уровень высшего образования специалитет).

В учебном пособии рассмотрены:

а) общие сведения об учебной практике: научно-исследовательской работе, проводимой на кафедре инженерной геодезии и маркшейдерского дела СГУГиТ после окончания аудиторных занятий в 6-м семестре и сдачи обучающимися зачетно-экзаменационной сессии;

б) общие сведения из курса геодезии, необходимые для качественного выполнения комплекса полевых и камеральных работ, которые утверждены рабочей программой учебной практики на заседании кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела СГУГиТ.

В учебном пособии приведены:

а) методические указания по выполнению каждого вида полевых работ, состоящих из создания опорной геодезической сети спутниковыми методами, проложения полигонометрического хода 2-го разряда, проложения нивелирного хода III класса, тахеометрической съемки полосы отвода трассы в масштабе 1 : 500;

б) методические указания по выполнению каждого вида камеральных работ, состоящих из камеральной обработки ГНСС-измерений, данных, полученных электронным тахеометром, и данных, полученных оптическим (или цифровым) нивелиром;

в) методические указания по выполнению трассирования автомобильной дороги, включающие в себя проектирование оптимальной оси трассы

с двумя круговыми кривыми, подготовку данных для детальной разбивки оси трассы на местности, а также вынос проектного положения трассы в натуру;

г) методические указания по выполнению научно-исследовательской работы, которая заключается в сравнении результатов геометрического и тригонометрического нивелирования;

д) требования, предъявляемые к оформлению материалов учебной практики: научно-исследовательской работы.

В конце учебного пособия дан перечень контрольных вопросов, которые позволят каждому обучающемуся качественно подготовиться к сдаче дифференцированного зачета по учебной практике.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Государственная геодезическая сеть (ГГС): назначение, классификация.
2. Понятие плановых опорных геодезических сетей и методы их построения.
3. Спутниковые методы построения сети: лучевой, сетевой и комбинированный, их достоинства и недостатки.
4. Понятие и способы классификации спутниковых приемников.
5. Состав полевого комплекта спутниковой геодезической аппаратуры.
6. Порядок работы на станции при выполнении спутниковых геодезических измерений.
7. Понятие высотных опорных геодезических сетей и методы их построения.
8. Геодезические съемочные сети, их назначение, необходимая плотность пунктов и методы создания.
9. Полигонометрия. Требования, предъявляемые к полигонометрии IV класса, 1-го и 2-го разрядов.
10. Проектирование и рекогносцировка полигонометрических ходов, сетей. Закрепление пунктов полигонометрии на местности.
11. Поверки электронных тахеометров.
12. Методика проложения полигонометрического хода 2-го разряда. Трехштативная система измерения углов в полигонометрии.
13. Методы нивелирования: геометрический и тригонометрический.
14. Общие требования к нивелированию III класса, методика работы на станции, контроли и допуски.
15. Приборы и инструменты для нивелирования III класса. Требования к приборам и рейкам.
16. Поверки и юстировки нивелиров. Расположение геометрических осей нивелиров.
17. Поверка главного условия нивелира. Исправление угла i .

18. Исследования и поверки нивелирных реек.
19. Состав работ при инженерно-геодезических изысканиях линейных сооружений.
20. Понятие и состав работ при полевом трассировании.
21. Сущность разбивки способом полярных координат.
22. Главные точки и элементы круговой кривой.
23. Порядок нивелирования трассы линейного сооружения.
24. Тахеометрическая съемка. Порядок работы на станции при выполнении съемки электронным тахеометром.
25. Формула, по которой определяется превышение из тригонометрического нивелирования.
26. В каком случае вводится поправка за кривизну Земли и рефракцию?
27. С какой точностью измеряется высота инструмента на точке?
28. Почему нумерация пикетов по всему объекту должна быть сплошная?
29. Основные технические допуски при выполнении тахеометрической съемки данного масштаба.
30. Система «КРЕДО ДАТ»: последовательность уравнивания полигонометрического хода.
31. Состав ведомостей обработки результатов уравнивания полигонометрического хода в «КРЕДО ДАТ».
32. Система «КРЕДО НИВЕЛИР»: порядок уравнивания нивелирного хода.
33. Порядок создания продольных и поперечных профилей трассы линейного сооружения.
34. Создание цифровой модели местности в специализированном программном обеспечении.
35. Геометрическое нивелирование какого класса можно заменить тригонометрическим и почему?
36. Правила техники безопасности при производстве топографо-геодезических работ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Учебное пособие по геодезической практике : учеб. пособие / В. Ф. Лукьянов, В. Е. Новак, В. Г. Ладонников [и др.]. – М. : Недра, 1986. – 236 с.
2. Правила по технике безопасности на топографо-геодезических работах : справ. пособие [Электронный ресурс]. – Доступ из электронного фонда правовой и нормативно-технической документации «Консорциум Кодекс».
3. Геодезическая практика : учеб. пособие / Б. Ф. Азаров, И. В. Карелина, Г. И. Мурадова, Л. И. Хлебородова [Электронный ресурс]. – Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/168836> (дата обращения: 08.11.2021). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Телеганов Н. А. Летняя полевая учебная практика по высшей геодезии : метод. указания. – Новосибирск : СГГА, 2010. – 49 с.
5. ГКИНП 02-033–82. Инструкция по топографической съемке в масштабах 1 : 5 000, 1 : 2 000, 1 : 1 000 и 1 : 500 : Геодезические, картографические инструкции, нормы и правила : издание официальное: утверждена и введена в действие Главным управлением геодезии и картографии при Совете Министров СССР 09.09.1982 (приказ № 436 п.). – М. : Недра, 1982. – 162 с.
6. ГКИНП (ГНТА) 17-195–99. Инструкция по проведению технологической поверки геодезических приборов : Геодезические, картографические инструкции нормы и правила : издание официальное: утверждена приказом руководителя Роскартографии от 17.06.1999 № 80-пр. – Введ. 1999–10–17. – М. : ЦНИИГАиК, 1999. – 56 с.
7. ГКИНП (ГНТА) 03-010–03. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов : Геодезические, картографические инструкции, нормы и правила : издание официальное: утверждена руководителем Федеральной службы геодезии и картографии России 25.12.2003 № 181-пр. – Введ. 2004–02–01. – М. : Картгеоцентр-Геодезиздат, 2004. – 244 с.

8. Условные знаки для топографических планов масштабов 1 : 5 000, 1 : 2 000, 1 : 1 000, 1 : 500. – М. : ФГУП «Картгеоцентр», 2005. – 287 с.
9. Селиханович В. Г., Козлов В. П., Логинова Г. П. Практикум по геодезии : учеб. пособие для вузов / под ред. В. Г. Селиханович. – 2-е изд., стер., перепечатано с изд. 1978 г. – М. : Альянс, 2006. – 382 с.
10. СП 317.1325800.2017. Инженерно-геодезические изыскания для строительства. Общие правила производства работ [Электронный ресурс]. – Доступ из электронного фонда правовой и нормативно-технической документации «Консорциум Кодекс».
11. Уставич Г. А. Геодезия : учеб. в 2-х кн. Кн. 2. – Новосибирск : СГГА, 2014. – 534 с.
12. Костылев В. А., Шумейко В. В., Барсуков К. Г. Геодезия : учеб.-метод. пособие по учеб. геодезической практике. – Воронеж : Воронежский ГАСУ, 2013. – 80 с.
13. СП 47.13330.2016. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения [Электронный ресурс]. – Доступ из электронного фонда правовой и нормативно-технической документации «Консорциум Кодекс».
14. СП 11-104–97. Инженерно-геодезические изыскания для строительства [Электронный ресурс]. – Доступ из электронного фонда правовой и нормативно-технической документации «Консорциум Кодекс».
15. Тревого И. С., Шевчук П. М. Городская полигонометрия. – М. : Недра, 1986. – 199 с.
16. Неволин А. Г., Горобцов С. Р. Методы обработки геодезических данных с применением технологий КРЕДО : практикум. – Новосибирск : СГУГиТ, 2019. – 101 с.
17. Геодезия. Топографические съемки : справ. пособие / Ю. К. Неумывакин [и др.]. – М. : Недра, 1991. – 317 с.
18. ГОСТ 21830–76. Приборы геодезические. Термины и определения [Электронный ресурс]. – Доступ из электронного фонда правовой и нормативно-технической документации «Консорциум Кодекс».
19. ГОСТ Р 51774–2001. Тахеометры электронные. Общие технические условия [Электронный ресурс]. – Доступ из электронного фонда правовой и нормативно-технической документации «Консорциум Кодекс».

20. Ворошилов А. П. Спутниковые системы и электронные тахеометры в обеспечении строительных работ : учеб. пособие для вузов. – Челябинск : АКСВЕЛЛ, 2007. – 163 с.

21. ГОСТ 10528–90. Нивелиры. Общие технические условия (с изменением № 1) [Электронный ресурс]. – Доступ из электронного фонда правовой и нормативно-технической документации «Консорциум Кодекс».

22. ГОСТ 31380–2009. Глобальные навигационные спутниковые системы. Аппаратура потребителей. Классификация [Электронный ресурс]. – Доступ из электронного фонда правовой и нормативно-технической документации «Консорциум Кодекс».

23. ГОСТ Р 52928–2010. Система спутниковая навигационная глобальная. Термины и определения [Электронный ресурс]. – Доступ из электронного фонда правовой и нормативно-технической документации «Консорциум Кодекс».

24. ГОСТ Р 8.793–2012. Государственная система обеспечения единства измерений. Аппаратура спутниковая геодезическая. Методика поверки [Электронный ресурс]. – Доступ из электронного фонда правовой и нормативно-технической документации «Консорциум Кодекс».

25. ГОСТ Р 53607–2009. Глобальная навигационная спутниковая система. Методы и технологии выполнения геодезических и землеустроительных работ. Определение относительных координат по измерениям псевдодальностей. Основные положения [Электронный ресурс]. – Доступ из электронного фонда правовой и нормативно-технической документации «Консорциум Кодекс».

26. ГКИНП (ОНТА)-02-262-02. Инструкция по развитию съемочного обоснования и съемке ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS [Электронный ресурс]. – Доступ из электронного фонда правовой и нормативно-технической документации «Консорциум Кодекс».

27. ГКИНП (ОНТА)-01-271-03. Руководство по созданию и реконструкции городских геодезических сетей с использованием спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS [Электронный ресурс]. – Доступ из электронного фонда правовой и нормативно-технической документации «Консорциум Кодекс».

28. Зубов А. В., Зубова Т. В. Особенности точных линейно-угловых измерений электронными тахеометрами // Геопрофи. – 2005. – № 4. – С. 50–51.

29. Ефимова О. К., Калюжин В. А. Автоматизированные информационные системы для камеральной обработки топографо-геодезических данных. Обработка планово-высотного обоснования в системе CREDO-DAT : метод. указания. – Новосибирск : СГГА, 2009. – 42 с.

30. Косарев Н. С., Шунаева Л. А. Учебная практика: исполнительская практика : учеб.-метод. пособие. – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – 68 с.

31. Шунаева Л. А. Обработка результатов наблюдений за осадками в программах CREDO НИВЕЛИР CREDO РАСЧЕТ ДЕФОРМАЦИЙ : учеб. пособие. – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. – 60 с.

32. Скрипников В. А., Скрипникова М. А., Лифашина Г. В. Прикладная геодезия. Трассирование линейных сооружений. Разбивочные работы : лабораторный практикум. – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. – 82 с.

33. Мурзинцев П. П., Репин А. С. Прикладная геодезия. Решение геодезических задач с помощью комплекса CREDO : сб. описаний практ. работ. – Новосибирск : СГГА, 2013. – 99 с.

34. Неволин А. Г. Технологии создания электронного геопространства. Методы обработки геопространственных данных с применением Credo-технологий : лабораторный практикум. – Новосибирск : СГГА, 2014. – 104 с.

35. Вшивкова О. В., Маркузе Ю. И., Ямбаев Х. К. О точностных ограничениях одновременного двустороннего тригонометрического нивелирования // Естественные и технические науки. – 2018. – № 11. – С. 234–240.

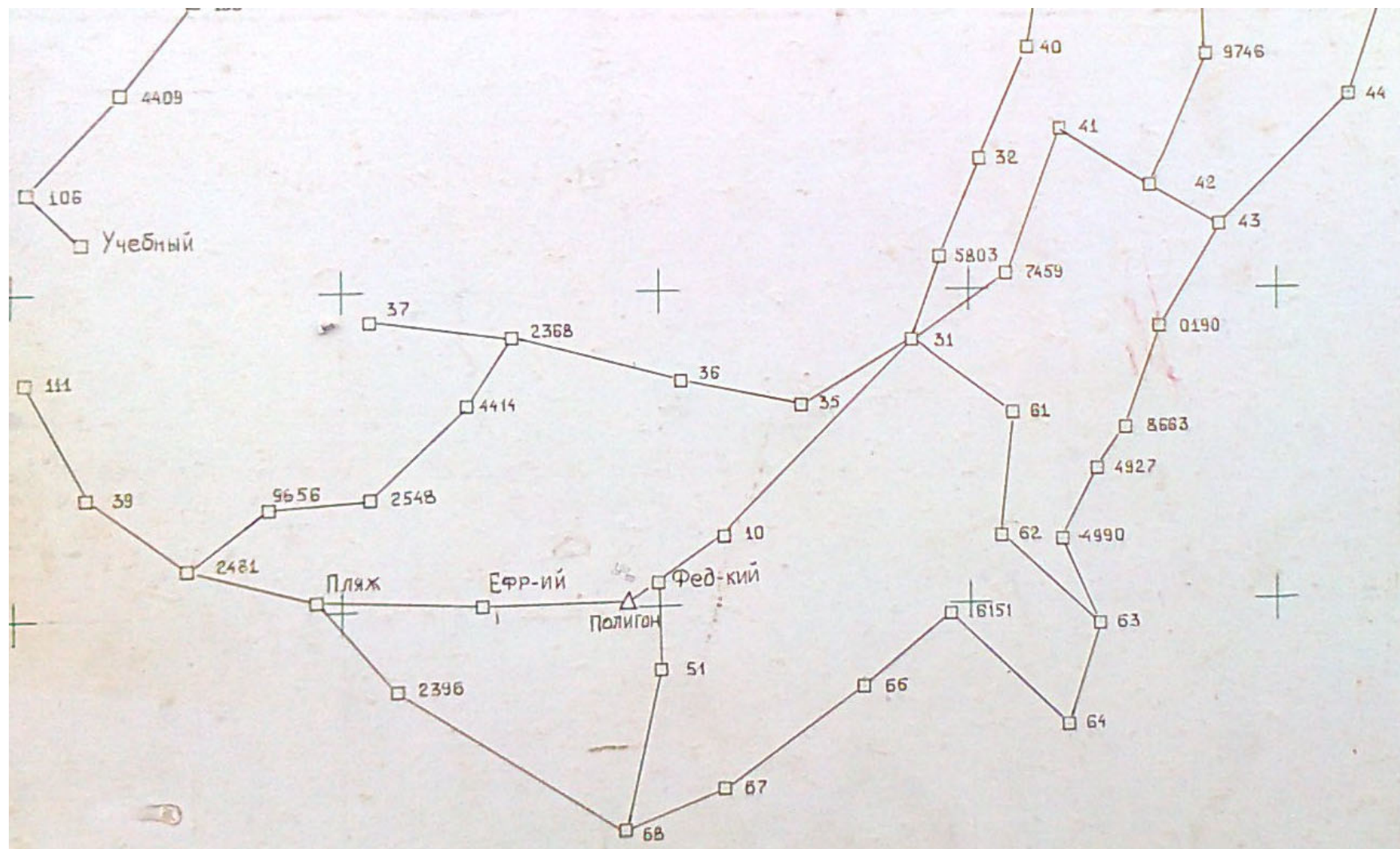
36. Передача высот наклонным лучом методом «труба в трубу» при строительстве мостов / В. Я. Швидкий [и др.] // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 1994. – № 4-5. – С. 20–25.

37. Государственная итоговая аттестация выпускников СГУГиТ. Структура и правила оформления : стандарт организации / под общ. ред. В. А. Ащеулова ; сост. Л. Г. Куликова. – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. – 70 с.

КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Шкала оценивания	Критерии оценивания
«Отлично»	Обучающийся должен: продемонстрировать глубокое и прочное усвоение теоретических и практических знаний последовательности выполнения полевых и камеральных геодезических работ; исчерпывающе, последовательно, грамотно и логически стройно изложить последовательность выполнения работ; правильно формулировать определения; продемонстрировать умения самостоятельной работы с аппаратурой (инструментами), программным обеспечением, нормативно-правовой литературой; уметь сделать выводы по результатам проделанной работы
«Хорошо»	Обучающийся должен: продемонстрировать достаточно полное знание последовательности выполнения полевых и камеральных геодезических работ; исчерпывающе, достаточно последовательно, грамотно и логически стройно изложить последовательность выполнения работ; правильно формулировать определения; продемонстрировать умение самостоятельной работы с аппаратурой (инструментами), программным обеспечением, нормативно-правовой литературой; уметь сделать достаточно обоснованные выводы по результатам проделанной работы
«Удовлетворительно»	Обучающийся должен: продемонстрировать общее знание последовательности выполнения полевых и камеральных геодезических работ; продемонстрировать умения самостоятельной работы с аппаратурой (инструментами), программным обеспечением, нормативно-правовой литературой, показать общее владение понятийным аппаратом последовательности выполнения полевых и камеральных геодезических работ
«Неудовлетворительно»	Ставится в случае: незнания значительной части последовательности выполнения полевых и камеральных геодезических работ; невладения понятийным аппаратом выполнения полевых и камеральных работ; наличия существенных ошибок в изложении последовательности выполнения геодезических работ; неумения строить ответ в соответствии со структурой излагаемого вопроса; неумения делать выводы

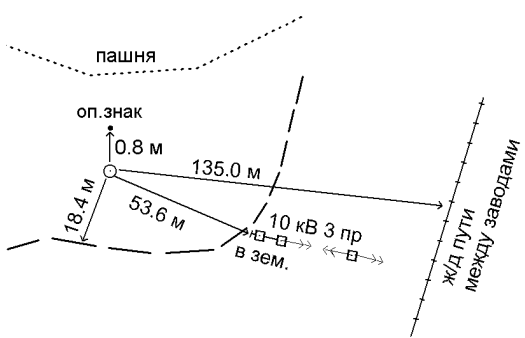
ФРАГМЕНТ СХЕМЫ ОПОРНОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ УЧЕБНОГО ПОЛИГОНА СГУГИТ



**КАТАЛОГ КООРДИНАТ ПУНКТОВ ОПОРНОЙ
ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ УЧЕБНОГО ПОЛИГОНА СГУГИТ**

Название пункта	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>H</i>
п. тр. Полигон	6006,219	3946,000	122,903
пп. 2368	6425,880	3771,022	108,341
пп. 2396	5866,614	3585,379	107,719
пп. 2481	6064,114	3264,973	100,452
пп. 31	6414,954	4409,615	130,031
пп. 35	6314,674	4229,163	127,714
пп. 36	6360,932	4032,349	125,599
пп. 4414	6317,301	3696,962	105,832
пп. 6151	5984,720	4468,366	126,130
пп. 62	6102,282	4550,623	126,814
пп. 63	5963,520	4711,629	122,004
пп. 64	5794,249	4661,009	123,367
пп. 66	5861,067	4321,450	125,384
пп. 67	5706,926	4088,545	120,773
пп. 68	5636,993	3937,464	105,672
пп. 9656	6158,862	3389,581	101,532
пп. Пляж	6013,611	3463,568	107,769
пп. 0190	6433,392	4808,963	125,154
пп. 40	6886,987	4596,677	150,973
пп. 43	6598,131	4906,132	134,054
пп. 44	6817,092	5123,770	138,529
пп. 8663	6275,349	4755,218	123,792
пп. 9276	8098,556	4774,857	191,873
пп. «Ефремовский»	6010,720	3719,013	109,000
пп. «Федоровский»	6037,482	3997,594	124,455
пп. 10	6109,030	4100,397	127,051
пп. 111	6360,621	3022,155	101,130
пп. 2630	7098,631	4875,305	158,385
пп. 32	6704,432	4518,936	142,480
пп. 37	6478,349	3542,984	106,398
пп. 38	6529,826	3307,449	101,776
пп. 39	6183,855	3111,121	99,470
пп. 41	6747,691	4650,390	145,111
пп. 42	6663,326	4789,036	142,979
пп. 4927	6211,545	4707,874	122,866
пп. 4990	6099,670	4649,871	124,616
пп. 51	5892,788	3997,056	122,898
пп. 5803	6543,865	4450,083	132,619
пп. 61	6300,958	4571,560	127,470
пп. 7459	6545,820	4563,076	134,041
пп. 9746	6872,368	4887,248	150,967
пт. Устье-Бугрихи	8134,603	4425,438	184,660

КАРТОЧКА ЗАКЛАДКИ ПУНКТА

Трапедия масштаба 1 : 100 000	N-34-044	Название (номер) пункта / знака	0367
		Тип знака	вр. рп.
Производитель работ	150 экспедиция	Тип центра	158 оп. знак
Объект	Полигон «Учебный»	Номер марки	0367
		Класс, разряд	2 разряд
		Контрольная марка	—
Год закладки	2022	Расстояние до контрольной марки	—
Абрис		Описание местоположения	
		Калининградская обл., 2 км к югу от Гастеллово в 135 м к сев.-зап. от ближайшего рельса жел.-дор., в 53,6 м к сев.-зап. от бетонного столба ЛЭП 10 кВ, в 18,4 м к сев.-вост. от полевой дороги. Отрезок мет. трубы длиной 55 см диаметром 6 см с маркой, нижний конец трубы скреплен с бетонным якорем диаметром 40 см и высотой 20 см, заложенным на глубину 85 см. На расстоянии 0,8 м к сев. от центра установлен оп. знак с охранной табличкой. Выполнена окопка размером 2,0 × 2,0 м. 54° 59' 40" 21° 31' 10"	
Выполнил	геодезист	Иванов П. М.	09.02.2022
Проверил	нач. партии	Макаров А. С.	09.02.2022
		ФИО	подпись
		ФИО	дата
Фотография марки центра		Фотография внешнего оформления	
			
Высота верха марки над уровнем земли -0,30 м			

ЛИСТ ЖУРНАЛА СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Название и класс пункта (точки) _____

Тип, характеристики, состояние и оформление пункта (точки) _____

Тип центра, описание (номер) марки _____

Приближенные геодезические координаты WGS-84 (B , L не точнее 30 м):

$B =$ _____ $L =$ _____ $H =$ _____ м.

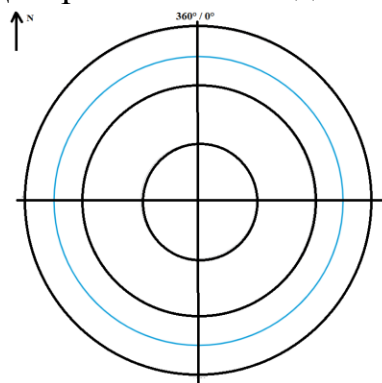
Дата наблюдений: _____ День от начала года: _____

Количество и продолжительность сеансов _____

Режим измерений _____ Идентификатор пункта (точки) _____

Дискретность _____ Маска возвышения _____ PDOP _____

Сеанс	№		№	
Имя файла				
Время	Начало:	Конец:	Начало:	Конец:
Схема измерений и вычисление высоты антенны				
	Ср. =	Ср. =	Ср. =	Ср. =
	Высота антенны		Высота антенны	

Диаграмма зоны видимости 	№	Азимут	Угловая высота	Расстояние, м	Описание препятствия
Условия наблюдений					

Внецентренная установка антенны спутникового приемника _____

(столик сигнала, элементы знака и т. д.)

Привязка положения антенны (определение элементов центрировки): _____

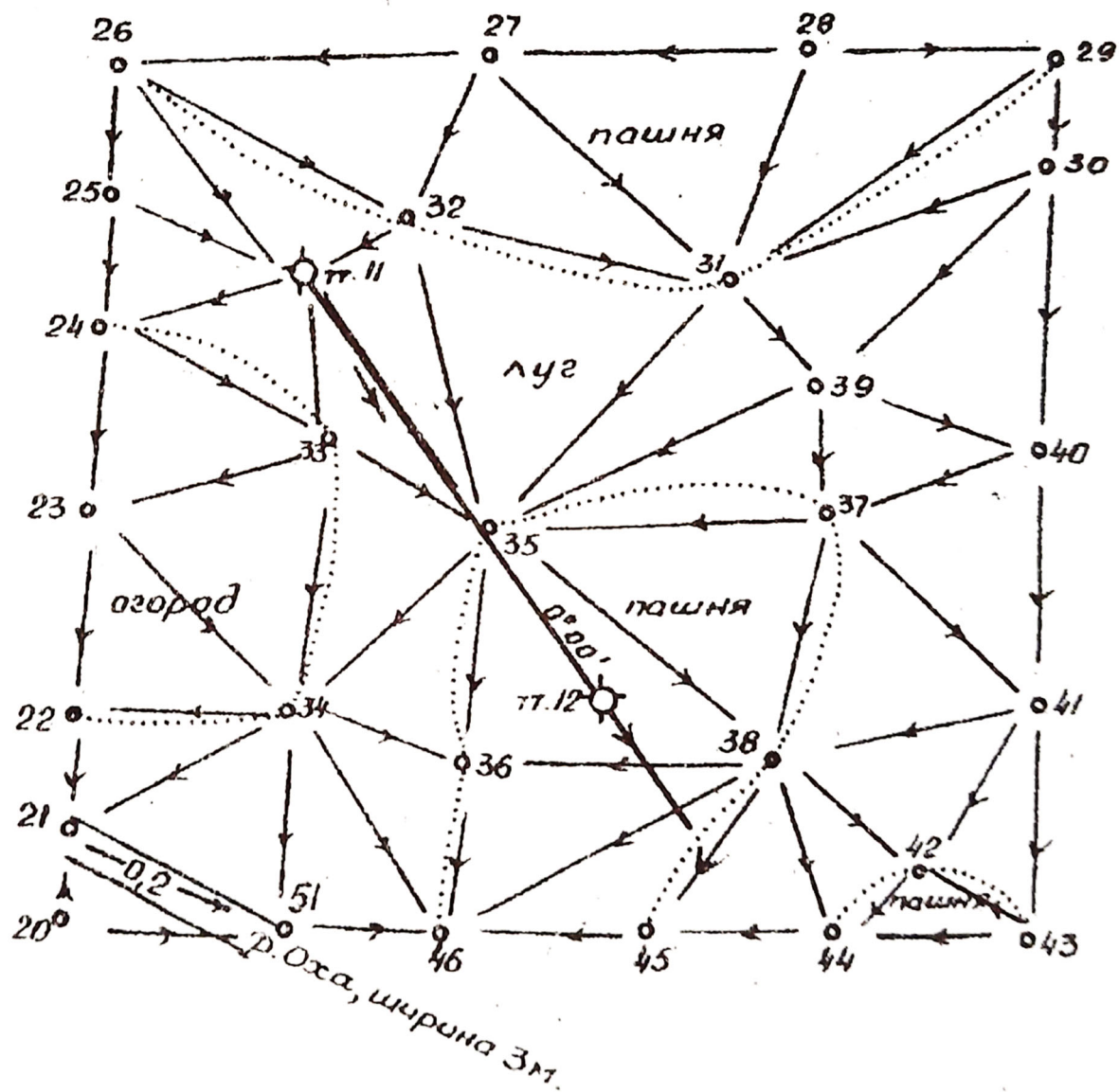
Исполнитель: _____

ЖУРНАЛ ИЗМЕРЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО УГЛА СПОСОБОМ ОТДЕЛЬНОГО УГЛА

Пункт ПП 8 Прибор Тахеометр Leica 407
 Дата 28.06.2022 $t =$ 25 °C Погода облачно
 Время 9 ч 50 мин Видимость хорошая Изображения сл. колеб.

Станция	Прием	Круг	Точка визиро- вания	Отсчеты по горизонталь- ному кругу	Угол в полуприеме	Среднее значение угла
ПП 8	1	КЛ	ПП 7	0° 00' 34"	121° 25' 41"	121° 25' 42"
			ПП 9	121° 26' 15"		
		КП	ПП 7	180° 00' 47"	121° 25' 44"	
			ПП 9	301° 26' 31"		
ПП 8	2	КЛ	ПП 7	0° 00' 30"	121° 25' 40"	121° 25' 44"
			ПП 9	121° 26' 10"		
		КП	ПП 7	180° 00' 41"	121° 25' 47"	
			ПП 9	301° 26' 28"		
Наблюдал: Малиновский А. В. Записал: Смирнов П. С.						

ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ АБРИСА



Учебное издание

Косарев Николай Сергеевич

Никонов Антон Викторович

Лагутина Елена Константиновна

УЧЕБНАЯ ПРАКТИКА: НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА

Редактор *О. В. Георгиевская*

Компьютерная верстка *Н. Ю. Леоновой*

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.

Подписано в печать 11.04.2022. Формат 60 × 84 1/16.

Усл. печ. л. 6,28. Тираж 85 экз. Заказ 47.

Гигиеническое заключение

№ 54.НК.05.953.П.000147.12.02. от 10.12.2002.

Редакционно-издательский отдел СГУГиТ
630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 10.

Отпечатано в картопечатной лаборатории СГУГиТ
630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 8.