

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра проектирования, строительства
и эксплуатации транспортных объектов

Е. К. АТРОШКО, И. П. ДРАЛОВА, В. Б. МАРЕНДИЧ

ЭЛЕКТРОННЫЕ, ЛАЗЕРНЫЕ И СПУТНИКОВЫЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ И РАБОТА С НИМИ

*Одобрено методической комиссией факультета ПГС
в качестве лабораторного практикума
для студентов строительных специальностей*

Гомель 2019

УДК 528.48 (076.5)
ББК 26.12
А92

Р е ц е н з е н т – зав. кафедрой «Строительные технологии и конструкции»
канд. техн. наук, доцент *О. Е. Пантюхов* (БелГУТ)

Атрошко, Е. К.

А92 Электронные, лазерные и спутниковые геодезические приборы и работа с ними : лабораторный практикум / Е. К. Атрошко, И. П. Дралова, В. Б. Марендич ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2019. – 53 с.
ISBN 978-985-554-806-6

Рассмотрены современные электронные, лазерные и спутниковые приборы, используемые для угловых, линейных и высотных измерений, дана их классификация, устройство и принцип работы с ними. Составлено в соответствии с типовой и рабочей программой по дисциплине «Спецкурс по инженерной геодезии».

Предназначен для студентов строительных специальностей.

УДК 528.48 (076.5)
ББК 26.12

ISBN 978-985-554-806-6

© Атрошко Е. К., Дралова И. П.,
Марендич В. Б., 2019
© Оформление. БелГУТ, 2019

ВВЕДЕНИЕ

В связи с быстрым развитием электронных, лазерных и спутниковых геодезических приборов и созданием программ для обработки результатов геодезических измерений данный практикум является актуальным.

В нем рассмотрены современные электронные геодезические приборы, такие как светодальномеры и лазерные рулетки для измерения расстояний, нивелиры для измерения превышений и высот точек. Особое внимание в практикуме уделено устройству и работе с электронными тахеометрами как наиболее перспективными приборами и для топографических съемок местности и выполнения разбивочных работ в строительстве.

В заключительной части практикума рассмотрены лазерные и спутниковые геодезические приборы и технологии и их использование при изысканиях, строительстве и эксплуатации инженерных сооружений.

По содержанию и последовательности расположения работ практикум соответствует учебным программам данных дисциплин.

ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЯ РАССТОЯНИЙ СВЕТОДАЛЬНОМЕРом СТ-5

Цель работы. Изучить устройство и принцип работы светодальномера СТ-5 «Блеск», овладеть методикой работы с ним при измерении расстояний.

Приборы и принадлежности. Светодальномер, отражатель, два штатива.

1 КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

В основе принципа определения расстояний светодальномерами лежит измерение времени прохождения света от источника излучения до отражателя и обратно (рисунок 1.1). Расстояние при этом определяют по формуле

$$D = v \cdot \tau / 2,$$

где v – скорость света в атмосфере;

τ – время, прошедшее от излучения до приема

$$v = C / n,$$

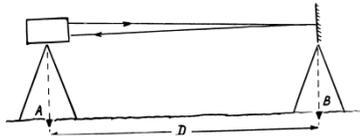


Рисунок 1.1 – Принцип измерения расстояний

где C – скорость света в вакууме (299 792 км/с);

n – показатель преломления атмосферы, который зависит от давления, температуры и влажности воздуха.

Поэтому при измерении расстояний светодальномером в результате измерения вводят соответствующие поправки.

По принципу измерения времени τ **светодальномеры** делятся на импульсные и фазовые. В *импульсных* светодальномерах излучение света производится в виде кратковременных импульсов (прерывисто) и время, затрачиваемое световым импульсом на прохождение расстояния до отражателя и обратно, измеряется с помощью быстродействующего счетчика.

В *фазовых* светодальномерах время прохождения светового луча определяется косвенно с помощью сравнения разности фаз опорного сигнала (выходящего из прибора) и принимаемого с дистанции отраженного сигнала.

По дальности измеряемых расстояний и точности светодальномеры делятся на три класса:

1) светодальномеры *геодезические* (СГ). Они позволяют измерять большие расстояния (15–50 км) с погрешностью $\pm(5-10)$ мм $+(1-2)$ мм/км. Используют эти светодальномеры для измерения сторон в государственных геодезических сетях;

2) светодальномеры *топографические* (СТ) измеряют расстояния длиной до 5 км с погрешностью около 20 мм. Применяются в геодезических сетях сгущения и для топографических съемок местности;

3) светодальномеры *повышенной точности* – для измерения расстояний длиной до 3 км с погрешностью 2 мм и менее. Используются при решении задач инженерной (прикладной) геодезии. Эти приборы маркируются буквами СП (прикладные) или СМ (маркшейдерские для работ в метро, тоннелях и т. д.).

В комплект светодальномера входят *приемопередатчик* (светодальномер) и *отражатель*. Приемопередатчик устанавливают на штативе на одном конце измеряемого отрезка, а отражатель – на штативе или на специальной вешке на другом конце линии (см. рисунок 1.1).

Отражатели, используемые для измерения расстояний светодальномером, могут быть *призменные* и *пленочные*. Основным элементом призменных отражателей являются стеклянные призмы. Пленочные отражатели представляют собой отражающую светопластиковую пленку, на которую нанесена сетка штрихов.

2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

2.1 Изучение устройства и технических характеристик светодальномера СТ-5 «Блеск»

В светодальномере СТ-5 «Блеск» (рисунок 1.2) использован импульсно-фазовый гетеродинный способ измерения расстояния с преобразованием временного интервала. Источником излучения служит полупроводниковый лазерный диод с длиной волны излучения 0,86 мкм, а приемником сигнала – фотоэлектронный умножитель.

Светодальномером можно измерять расстояния от 0,2 до 5000 м со средней квадратической погрешностью не более $\pm(10 \text{ мм} + 5 \text{ мм/км})$.

Прибор предназначен для измерения расстояний в полигонометрии и трилатерации 4-го класса, в полигонометрии 1-го и 2-го разрядов и в геодезических работах при строительстве. Его можно устанавливать на теодолиты серии 2Т для одновременного измерения углов и расстояний, что позволяет весьма эффективно создавать съемочные сети проложением теодолитных ходов, полярным методом и выполнять тахеометрическую съемку.

Источником излучения в светодальномере служит полупроводниковый лазерный диод «Крузиз», а приемником сигнала – фотоэлектронный умножитель. Длительность излучения импульсов в режиме «ТОЧНО» составляет 10 нс ($1 \text{ нс} = 10^{-9} \text{ с}$), в режиме «ГРУБО» – 50 нс. Частота следования излучаемых импульсов в режиме «ТОЧНО» $f_1 = 14985,5 \text{ кГц}$, в режиме «ГРУБО» $f_2 = 149,855 \text{ кГц}$.

Основные части светодальномера показаны на рисунке 1.2.

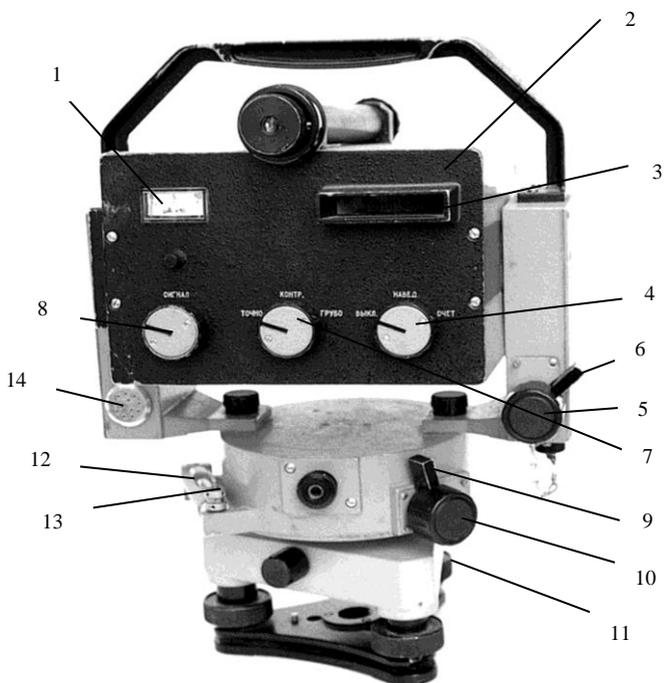


Рисунок 1.2 – Светодальномер СТ-5 «Блеск» (вид со стороны лицевой панели):

1 – стрелочный прибор; 2 – лицевая панель; 3 – цифровое табло; 4 – переключатель «ВЫКЛ.-НАВЕД.-СЧЕТ»; 5, 10 – головки винтов наводящих устройств; 6, 9 – рукоятки закрепительных устройств; 7 – переключатель «ТОЧНО-КОНТР.-ГРУБО»; 8 – ручка «СИГНАЛ»; 11 – окуляр оптического центра; 12 – цилиндрический уровень; 13 – юстировочные гайки уровня; 14 – микрофон

В головке прибора расположены приемопередающая система, источник светового излучения и фотоприемное устройство – фотоэлектронный умножитель (ФЭУ). На лицевую панель вынесены рукоятка «СИГНАЛ», переключатель «ТОЧНО-КОНТР.-ГРУБО», переключатель «ВЫКЛ.-НАВЕД.-СЧЕТ», цифровое табло, стрелочный контрольный прибор и рукоятка установки контрольного отсчета.

В состав комплекта оборудования входят: светодальномер, призменные отражатели, два источника питания, разрядно-зарядное устройство, подставки, штативы, термометр, барометр и др. Масса светодальномера – 4,5 кг, а полного комплекта – 60 кг.

Результаты измерений индицируются на шестиразрядном электронно-цифровом табло. В приборе имеется выход для подключения регистрирующего устройства. Светодальномер имеет устройство блокировки процесса

измерений, исключающее получение ложных результатов при появлении в створе между светодальномером и отражателем помехи.

В комплект светодальномера входят два вида отражателей: большой и малый. На рисунке 1.3 показан шестипризменный отражатель. В комплект входят два таких отражателя. Кроме того, имеется однопризменный отражатель и две платы с тремя призмами. Число призм в отражателе выбирают в зависимости от длины измеряемой линии и атмосферных условий.

Расстояния до 1,5 км можно измерять с одной призмой, до 3 км – с шестью призмами. При измерении максимального расстояния в 5000 м отражатель монтируют из 18 призм.

Марка отражателя используется в качестве визирной цели при измерении углов теодолитом модели 2Т, на который может быть установлен светодальномер для проведения топографической съемки на местности.

Изучение методики и выполнение измерения расстояний светодальномером СТ-5 «Блеск». Светодальномер устанавливают на штативе в пункте измерения, центрируют его и горизонтируют, используя цилиндрический уровень и подъемные винты подставки светодальномера.

Аналогично устанавливается штатив с подставкой для отражателей. Окончательное центрирование подставки выполняется с помощью оптического центрира, вставляемого в подставку. Затем вместо центрира вставляется отражатель и наводится с помощью визира на светодальномер.

Непосредственно перед измерением линий проверяется источник питания и установка контрольного отсчета. Для этого переключатель 4 (см. рисунок 1.2) ставится в положение «ВЫКЛ», подключается источник питания, светодальномер включается в режим «СЧЕТ», «КОНТР». Если при этом показания стрелочного прибора 1 будут меньше 60 мА, то источник питания следует заменить (показанию 60 мА соответствует напряжение источника питания 6,0 В). Для установки контрольного отсчета переключатель 7 ставится в положение «ТОЧНО», с объектива снимается аттенуатор (сетка для ослабления

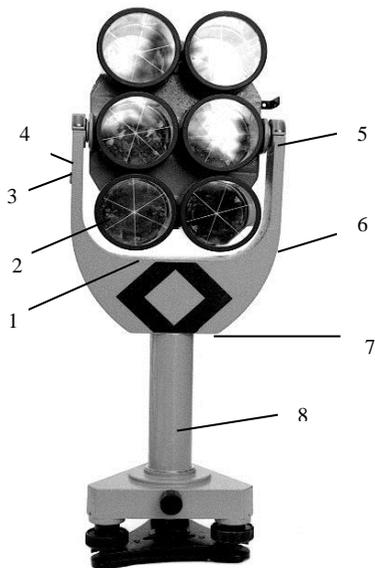


Рисунок 1.3 – Призменный отражатель:
1 – трипель-призма; 2 – плата; 3 – винт;
4 – полусось; 5 – визир; 6 – стойка; 7 – марка;
8 – переходник

светового потока) и одевается блок контрольного отсчета (крышка на объектив, снабженная отражателем). С помощью рукоятки «СИГНАЛ» устанавливается уровень сигнала в середине рабочей зоны и берется несколько отсчетов по табло 3. Если показания табло отличаются от значения контрольного отсчета, указанного в паспорте светодальномера (108 мм), то их изменяют вращением ручки установки контрольного отсчета.

Сам процесс измерения линии заключается в следующем. Светодальномер наводится на отражатель с помощью зрительной трубы (изображение отражателя должно находиться в окружности сетки нитей).

Светодальномер включается в режиме «ТОЧНО», «НАВЕД». Ручка «СИГНАЛ» поворачивается по часовой стрелке до ограничения, а при большом уровне фоновых шумов в солнечную погоду и при высокой окружающей температуре – до показания стрелочного прибора не более 20 мА.

Далее с помощью наводящих винтов уточняется ориентирование светодальномера до получения звукового сигнала. При этом стрелка прибора I отклоняется вправо по шкале. Если длина линии не превышает 400 м, то для ослабления отраженного сигнала на объектив надевают аттенюатор.

Светодальномер наводится по максимальному сигналу, однако уровень сигнала должен быть в середине рабочей зоны, что достигается вращением ручки «СИГНАЛ».

Измерения производятся при положении переключателей «СЧЕТ», «ТОЧНО». Вначале на всех индикаторах табло в течение 1–4 с после установки переключателя на «СЧЕТ» должна высвечиваться цифра 8. При необходимости ручкой «СИГНАЛ» подстраивается уровень сигнала. Затем после звукового сигнала берутся три отсчета измеряемого расстояния, которые записываются в журнал (таблица 1.1). В журнал записываются также температура и давление.

В целях контроля и повышения точности повторяют еще два раза наведение на отражатель по максимуму сигнала и после каждого наведения берут по три отсчета.

Затем переключатель ставится в положение «КОНТР» и берется отсчет K_f для определения поправки за температуру. Аналогично ведутся измерения в режимах «СЧЕТ», «ГРУБО», но при этом берутся по табло один-два отсчета. По окончании измерений переключатель ставится в положение «ВЫКЛ».

Для последующего определения поправки за наклон линии измеряется угол наклона или высоты светодальномера и отражателя. Результаты измерения линий светодальномером заносятся в журнал, образец которого приведен в таблице 1.1. Окончательное значение измеряемого наклонного расстояния в миллиметрах вычисляется по формуле

$$D = D_r + 10^{-5} D (K_n + K_f) + \Delta D_{\text{ц}}, \quad (1)$$

где $D_{\text{т}}$ – среднее арифметическое значение из отсчетов в режиме «ТОЧНО» с учетом известного числа километров;

$K_{\text{п}}$ – поправочный коэффициент, выбираемый из паспорта прибора по значениям температуры воздуха и атмосферного давления;

$K_{\text{г}}$ – поправочный коэффициент, учитывающий изменение частоты кварцевого генератора из-за температуры; выбирается из паспорта прибора по графику, по значению отсчета на табло при ручке 7 и 4 в положении «КОНТР» и «СЧЕТ»;

$\Delta D_{\text{ц}}$ – поправка за циклическую погрешность по результатам последней, с учетом известного числа километров.

Для определения $\Delta D_{\text{ц}}$ размечают базис на расстоянии 2–25 м от прибора длиной 10 м. Каждый 1 м базиса отмечают, а затем рулеткой и светодальнономером измеряют расстояния до них с точностью до 1,5 м. По разностям составляют график, которым пользуются при введении поправок в измерения:

$$\Delta D_{\text{ц}} = D_{\text{рул}} - D_{\text{с}},$$

где $D_{\text{рул}}$ – расстояние, измеренное рулеткой;

$D_{\text{с}}$ – расстояние, измеренное светодальнономером.

Эту поверку повторяют через 6 месяцев. Результаты измерений и вычислений расстояния D по формуле (1) записывают в журнал соответствующей формы (см. таблицу 1.1)

Таблица 1.1 – Журнал измерений линий светодальнономером СТ-5 «Блеск»

Измерения в режиме «ТОЧНО»			Вычисления
1-е наведение	2-е наведение	3-е наведение	
6,273	6,273	6,271	$D = 6273,8 \text{ мм}$
6,277	6,275	6,274	$K_{\text{п}} = -0,9$
6,273	6,280	6,268	$K_{\text{г}} = +0,3 \quad \Delta D_{\text{ц}} = -5 \text{ мм}$
$D = 6273,8 + 6273,8 \cdot 10^{-5}(-0,9 + 0,3) - 5 = 6268,76 \text{ мм}$			

Горизонтальное проложение D_0 вычисляют по формуле

$$D_0 = D \cos \nu,$$

где ν – угол наклона измеряемой линии.

По результатам измерений и вычисления расстояния следует составить схематический чертеж измеренного расстояния и горизонтального проложения линии. Отчет о выполнении лабораторной работы должен содержать задание с результатами измерений и вычислений расстояния, а также схематический чертеж измеренной длины линии.

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ ЛАЗЕРНЫМИ РУЛЕТКАМИ

Цель работы. Изучить устройство и принцип работы лазерных рулеток. Овладеть методикой работы с ними при измерении расстояний.

Приборы и принадлежности. Лазерные рулетки **SKIL** и **Leica DISTO X310**.

1 КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

Измерение – это процесс определения количественных значений с помощью технических устройств. Измерения могут быть как непосредственными, так и косвенными, как статическими, так и динамическими, как равноточными, так и неравноточными. Расстоянием называется пространство, разделяющее два пункта. Длиной называется расстояние между двумя наиболее удаленными точками объекта. Следовательно, для каждой линии (отрезка) можно однозначно определить расстояние, выражающее его длину, в то время как для объекта определяются несколько расстояний (длин) – например длина, ширина и высота.

Современные инженерные сооружения уникальны как в конструктивном, так и в технологическом отношении. Традиционные методы и приборы для геодезических работ, как правило, не удовлетворяют необходимой точности, поэтому в настоящее время ни одно строительство не обходится без применения оптико-механических, оптико-электронных и лазерных приборов для высокоточных инженерно-геодезических работ. Для успешной реализации прогрессивных решений в области проектирования и строительства применяются специальные методы и средства геодезических измерений.

Некоторые светодальномеры работают в безотражательном режиме. Они используют диффузное отражение светового сигнала от поверхности объекта, до которого измеряют расстояние. Обычно такие светодальномеры называют *лазерными рулетками*. Разница между ними заключается только в типе используемого излучения. В случае с дальномером используется сконцентрированный световой поток, именуемый лазерным лучом. Специальный излучатель рулетки выпускает луч, который отражается от твердого тела и возвращается назад – отражение улавливает приемник и на основе задержки во времени между выпущенным и принятым сигналом рассчитывается расстояние.

Они могут быть оснащены визирным устройством для наведения лазерного луча на точку объекта и измеряют расстояния с руки.

Стандартно такая рулетка представляет собой набор следующих компонентов:

1) *корпус*. В большинстве случаев пластиковый, с противоскользящими и противоударными вставками. Как правило, защищает само устройство от проникновения пыли и влаги;

2) *лазерный излучатель* – в серьезных профессиональных инструментах дополняется оптикой с защитой от запотевания;

3) *приемник* (он же оптический фильтр). Служит для приема отраженного сигнала. Также оборудуется защищающей от запотевания оптикой;

4) *преобразователь сигнала*. Конвертирует световой сигнал в цифровой;

5) *дисплей для вывода данных измерения*. Как правило, черно-белый, жидкокристаллический;

6) *блок управления* – рабочая плата, запрограммированная в особый режим работы. Именно она отвечает за все расчеты и вообще полностью за адекватную работу лазерного дальномера.

Кроме всего прочего, строительный лазерный дальномер укомплектовывается и различными вспомогательными приспособлениями. Также зачастую применяется штатив, различные пузырьковые уровни и многое другое. В общем, оборудование данного типа может представлять собой полноценный измерительный комплекс.

2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

2.1 Измерение расстояний с помощью лазерной рулетки SKIL. Лазерная рулетка *SKIL* (рисунок 2.1) позволяет измерять расстояния в помещениях и на улице при помощи проецирования лазерного луча. Диапазон рабочих температур: от -5 до $+50$ °С. Расстояния можно измерять в пределах от 0,2 до 20 м. Точность измерения отклоняется на $\pm 3,0$ мм, при неблагоприятных условиях на $+0,06$ % (например, при ярком солнечном свете).

При помощи этого инструмента можно легко и точно измерять длину, площадь и объем. Диапазон измерений возрастает в зависимости от того, насколько хорошо отражается луч лазера от целевой поверхности и насколько яркой является точка лазерного луча по отношению к интенсивности окружающего освещения. Для питания прибора применяются батарейки AAA (LR03) – 4 шт.

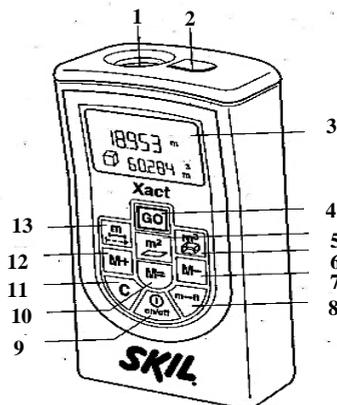


Рисунок 2.1 – Лазерная рулетка SKIL

Устройство лазерной рулетки и работа с ней. На рисунке 2.1 показано расположение следующих элементов: 1 – приемная линза; 2 – отверстие для лазерного луча; 3 – дисплей на жидких кристаллах для вывода результатов; 4 – кнопка начала измерений; 5 – режим измерения по поверхности; 6 – режим измерения объема; 7 – кнопка вычета данных из памяти; 8 – кнопка-преобразователь метров и футов; 9 – кнопка «Вкл/выкл»; 10 – кнопка восстановления данных в памяти; 11 – кнопка сброса данных; 12 – кнопка добавления данных в память; 13 – режим измерения длины и режим непрерывного измерения.

Измерения выполняются в следующей последовательности:

1 Включить инструмент, установить плотно задней стороной на точку начала измерения, нажать кнопку **GO** (4), чтобы включить лазерный луч. Направить инструмент на измеряемую поверхность и нажать кнопку **GO** снова. Измеренное значение появится на дисплее. Длина прибора учитывается в результате измерения. Лазерный луч выключается автоматически через 20 секунд.

2 Для измерения поверхности нажать кнопку 5, направить инструмент на первую измеряемую поверхность (длина). Дважды нажать кнопку **GO** – и измеренная длина появится на верхней строке дисплея. Направить инструмент на вторую измеряемую поверхность (ширина). Нажать **GO** и измеренная ширина появится на верхней строчке дисплея, а вычисленная площадь – на нижней.

3 Для измерения объема нажать кнопку 6, направить инструмент на первую измеряемую поверхность (длина) и два раза нажать кнопку **GO**. Измеренная длина появится на верхней строке дисплея. Направить инструмент на вторую измеряемую поверхность (ширина) и нажать **GO**. Измеренная ширина появится на верхней строчке дисплея, а вычисленная площадь – на нижней. Направить инструмент на третью измеряемую поверхность (высота), нажать **GO**. Измеренная длина появится на верхней строчке дисплея, а вычисленный объем – на нижней. Для сохранения (добавления) измеренных значений надо после выполнения измерений нажать **M+**. Считывание данных памяти происходит при нажатии **M=**.

При неудачном измерении на дисплее появляется «**ERROR**». Возможные причины неверных измерений: измерение проводилось вне пределов измерений, угол между лазерным лучом и отметкой был слишком острым, приемные линзы или отверстие для лазерного луча запотели (например, в связи с быстрой переменной температуры).

2.2 Выполнение измерений рулеткой Leica DISTO X310

Лазерная рулетка **Leica DISTO X310** относится к приборам нового поколения (рисунок 2.2). Корпус и клавиатура снабжены специальными резиновыми уплотнителями, которые защищают платы и оптику от проникновения пыли и влаги. Корпус лазерной рулетки выполнен из высокотехнологичных композитных материалов, поэтому прибор очень долговечен.

Leica DISTO X310 обладает широким спектром возможностей: дальность измерения – до 120 м, точность ± 1 мм, реализована возможность сохранения получаемых результатов, наличие датчика угла наклона на 360° , большой набор разнообразных функций.

Благодаря встроенному датчику угла наклона лазерная рулетка может заменить строительный уровень. Она выводит на дисплей коды ошибок, допущенных при измерении или вычислении значений. Например, при ошибке вычисления, критичной температуре окружающей среды, перегреве дальномера, слабом отраженном сигнале, превышении дальности измерения. Если прибор выдал ошибку, то продолжать измерения можно только после устранения всех негативных факторов.

Если не пользоваться дальномером в течение 90 секунд, происходит автоматическое выключение лазера, а через 180 секунд отключится и сам прибор. Эта функция необходима для экономии заряда элементов питания.

Кроме того, существует функция автоматического измерения в отсроченном режиме. Прибор имеет таймер для производства измерений по истечении установленного времени (от 5 до 60 секунд). Эта функция позволяет сделать замер в большом помещении до определенной точки в пустом пространстве. Измерения лазерной рулеткой выполняются следующим образом:

1 *Однократное измерение расстояний.* Нажать кнопку включения инструмента **ON**. Установить рулетку на точку начала измерения. По умолчанию расстояние измеряется от тыльной поверхности прибора. Если нажать и удерживать кнопку «точка отсчета» в течение 2 секунд, то измерение будет выполняться от передней поверхности. Направить инструмент на цель и



Рисунок 2.2 – Лазерная рулетка Leica Disto X310

нажать кнопку **ON** снова. Величина измеренного расстояния появится на дисплее (рисунок 2.3).

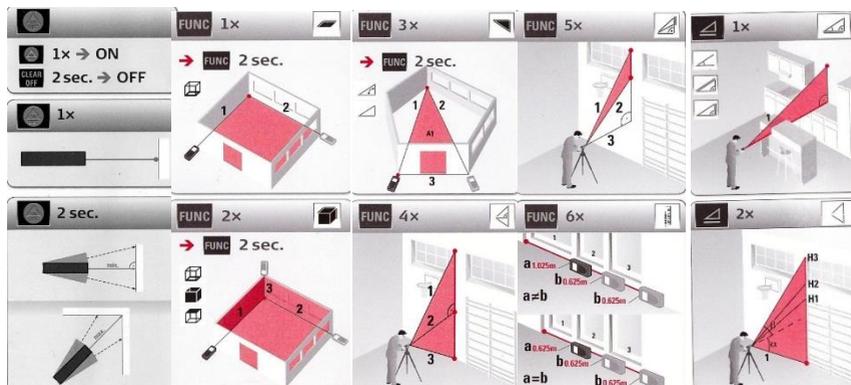


Рисунок 2.3 – Принцип работы рулетки при измерении различных величин

При необходимости найти минимальное или максимальное расстояние до цели надо удерживать клавишу **ON** около 3 секунд, лазерный дальномер перейдет в режим сканирования и, после повторного нажатия **ON**, измеренные минимальное и максимальное расстояния отображаются на дисплее.

2 *Измерение площади и объема.* Нажать кнопку **FUNC 1x**, приставить инструмент к первому измеряемому направлению и нажать кнопку **ON**. Затем необходимо направить инструмент ко второму направлению и снова нажать **ON**. Результат отображается в итоговой строке, а измеренное значение выше.

Для измерения объема необходимо нажать **FUNC 2x** и выполнить измерения по трем направлениям (длина, ширина, высота).

Для измерения площади треугольника нажать кнопку **FUNC 3x** и направить лазер на первую заданную точку, нажать **ON** для выполнения измерения. Затем направить лазер на вторую заданную точку и выполнить измерения. После выполнения измерений – на третью точку. Нажав кнопку **ON**, получим результат на дисплее. При нажатии **FUNC** около 2 секунд получаем угол при первых двух измеренных линиях, периметр и площадь.

3 *Вычисление по теореме Пифагора (трехточечное).* Эта функция используется при измерении объектов, к которым нет прямого доступа. Для выполнения измерений надо нажать **FUNC 4x**. Затем надо выполнить измерения на верхнюю точку, на точку под прямым углом и на нижнюю точку. После каждого наведения нажать кнопку **ON**. После последнего измерения на дисплее появится величина измеренного расстояния.

4 *Вычисление по теореме Пифагора (частичная высота).* Функция для измерения части объекта, к которому нет доступа. Выполнение измерений

начать с нажатия кнопки **FUNC 5x**. После этого надо выполнить измерение на верхнюю точку (**ON**), затем направить лазер на вторую точку (**ON**), а закончить – выполнив измерения на точку под прямым углом. После нажатия кнопки **ON** на дисплее в главной строке отобразится результат, а измеренное расстояние – сверху.

5 Разметка. С помощью этой функции можно разделить расстояние на отрезки равной или разной длины, введя величины расстояний a и b . Сначала надо нажать кнопку **FUNC 6x**. Затем, используя кнопки $+$ и $-$, настроить значение a . Нажать кнопку **ON**. Используя кнопки $+$ и $-$, настроить значение b . Нажатием кнопки **ON** подтвердить значение b и начинать измерения.

Следует медленно перемещать прибор вдоль линии разметки. На дисплее отобразится расстояние до следующей разметки. При приближении к точке разметки на расстоянии менее 0,1 м прибор начинает подавать звуковой сигнал, который может быть прекращен нажатием кнопки **CLEAR/OFF**.

6 Горизонтальный режим Smart. С помощью этой функции, используя комбинацию измерений угла и расстояния, можно определять расстояния через препятствия. Сначала надо нажать кнопку «Горизонтальный режим *Smart*», затем направить лазер на цель. Для выполнения измерения нажать кнопку **ON**. На дисплее появятся величины гипотенузы, катетов и угла, под которым было выполнено измерение.

Используя многофункциональную скобу (рисунок 2.4), удобно выполнять замер расстояний «от угла», куда невозможно поставить сам корпус дальномера. При открытии скобы дальнономер автоматически переключается в режим измерения «от скобы».

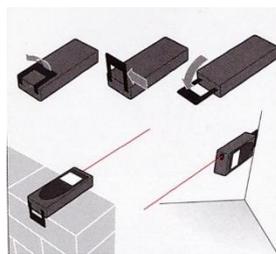


Рисунок 2.4 – Многофункциональная скоба

Дальнономер может сохранять в памяти сделанные измерения и с помощью средств коммуникации передавать их на компьютер – обычно используется проводное соединение.

Лабораторная работа № 3

ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И РАБОТА С ЭЛЕКТРОННЫМ ТАХЕОМЕТРОМ «SOKKIA SET630R»

Цель работы. Изучить устройство тахеометров «Sokkia SET 630R» и «Leica TS06», овладеть приемами работы с ними и приобрести первичные навыки в применении прикладных программ приборов.

Приборы и принадлежности. Тахеометр, штатив, телескопическая веха с призмным отражателем.

Подготовка к работе. Перед началом работы необходимо изучить соответствующие заданию разделы в руководстве по эксплуатации электронного тахеометра.

1 КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

Требования, предъявляемые к современной геодезической технике, весьма высоки: она должна объединять в себе последние достижения электроники, точной механики, оптики, других наук. Электронный тахеометр, в отличие от тахеометров предыдущих поколений, производит любые угломерные измерения одновременно с измерением расстояний и по полученным данным проводит инженерные вычисления, сохраняя всю полученную информацию. Такой универсальный прибор, как электронный тахеометр, позволяет сэкономить силы и время при решении множества геодезических задач.

Существует несколько классов данного прибора. Тахеометры различаются:

1) по конструкции:

- интегрированные – такие устройства, как GPS, теодолит, светодальномер, находятся в одном блоке (механизме);
- модульные – состоят из отдельно функционирующих приборов (процессора, клавиатуры, угломерных и дальномерных элементов и так далее);
- неповторительные – лимбы установлены наглухо с подставкой, имеются только специальные винты для поворота и изменения положения;

2) по применению:

– строительные (технические) – электронные приборы, применяющиеся в строительстве. Особенности таких тахеометров:

- измерение при засветке (против солнца);
- отсутствие возможности измерения в два приема (нет винта лимба);
- возможность сквозного промера дальномером при наличии каких-либо препятствий (сеток, веток, деревьев);
- большая производительность труда;
- инженерные (топографические) – электронные приборы, применяющиеся при топографических и специальных съемках;

3) по принципу работы:

– электронно-оптические – используются для проведения геодезических работ с наводящими винтами, безотражательным дальномером и изменением градации лимба (по классу проводимых работ);

- автоматизированные (роботизированные) – имеют в своем составе сервопривод и системы захвата, распознавания, слежения за объектом, что позволяет выполнять работы одному;

4) по точности:

- технические, предназначенные для измерения углов со средними квадратическими погрешностями от $\pm 5''$ и до $\pm 30''$;
- точные – от $\pm 2''$ и до $\pm 5''$;
- высокоточные – до $\pm 1''$.

2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1 Изучение устройства тахеометра «Sokkia SET630R». На рисунке 3.1 представлена схема устройства электронного тахеометра «Sokkia SET 630R». Основные части прибора: 1 – ручка; 2 – паз для установки буссоли; 3 – винт фиксации ручки; 4 – объектив; 5 – метка высоты инструмента; 6 – фокусирующее кольцо оптического отвеса; 7 – крышка сетки нитей оптического отвеса; 8 – окуляр оптического отвеса; 9 – горизонтальный винт точной наводки; 10 – горизонтальный закрепительный винт; 11 – подъемный винт; 12 – основание трегера; 13 – защелка трегера; 14 – рабочая панель; 15 – круглый уровень; 16 – дисплей; 17 – цилиндрический уровень; 18 – горизонтальный закрепительный винт; 19 – горизонтальный винт точной наводки; 20 – крышка аккумуляторного отсека; 21 – окуляр зрительной трубы; 22 – фокусирующее кольцо зрительной трубы; 23 – зрительная труба; 24 – оптический визир.

Внимание! Дальномерный модуль (EDM), встроенный в тахеометр, использует лазерный луч видимого диапазона, который выходит из объектива зрительной трубы. Для обеспечения безопасной работы с инструментом никогда не наводите лазерный луч на людей, так как его попадание на кожу или в глаз может вызвать серьезное повреждение. Перед включением питания убедитесь, что никто из людей не находится на пути распространения лазерного луча; не смотрите в объектив при включенном источнике лазерного излучения и на лазерный луч, так как это может привести к потере зрения.

Избегайте наведения тахеометра на сильно отражающие и зеркальные поверхности, способные создавать мощный отраженный пучок. Наведение на отражатель нужно выполнять только с помощью зрительной трубы.

Никогда не извлекайте аккумуляторы во время работы прибора или в процессе выключения. Это может привести к утере данных и системным



Рисунок 3.1 – Тахеометр SET 630R

сбоям. Выключайте прибор кнопкой **ON/OFF**, перед извлечением аккумулятора всегда дожидаетесь полного выключения прибора.

Перед началом работы ознакомьтесь с основными операциями, с клавишами по каждой процедуре измерений.

На рисунке 3.2 представлена схема расположения клавиш на панели управления тахеометра: **ON** – включение питания; **ON** (нажата) +  – отключение питания;  – включение (выключение) подсветки экрана; **SFT** – переключение типа отражателя (призма/пленка/нет); **F1–F4** – выбор функции, соответствующей программной клавише; **FUNC** – переключение между страницами экранов режима измерений (когда размещено более четырех программных клавиш); **BS** – удаление символа слева; **ESC** – отмена ввода данных;  – выбор/подтверждение ввода слова или значения;   – перемещение курсора вверх и вниз;   – перемещение курсора вправо и влево или выбор другой опции.

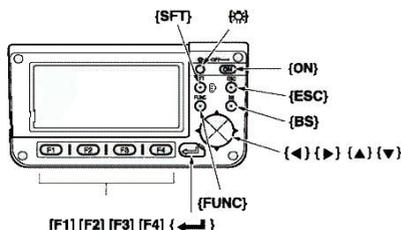


Рисунок 3.2 – Клавиатура «Sokkia SET 630R»

Рисунок 3.2 – Клавиатура «Sokkia SET 630R»

2 Приведение тахеометра в рабочее положение. Центрирование.

Установите штатив, убедитесь, что его ножки расставлены на равные расстояния и что его головка приблизительно горизонтальна. Поместите штатив так, чтобы его головка находилась над точкой съемки (рисунок 3.3). Установите инструмент, рукой закрепите его на штативе становым винтом (рисунок 3.4).

Наведите фокус на точку съемки. Смотри в окуляр оптического отвеса, вращайте фокусирующее кольцо окуляра оптического отвеса для фокусирования на сетке нитей (рисунок 3.5). Вращайте фокусирующее кольцо оптического отвеса для фокусирования на точке съемки.

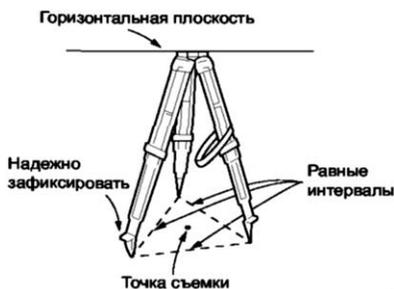


Рисунок 3.3 – Установка штатива

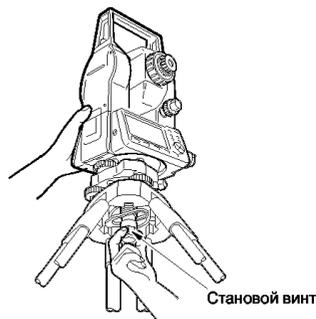


Рисунок 3.4 – Установка инструмента

Совместите точку съемки с перекрестьем сетки нитей. Вращением подъемных винтов трегера совместите центр точки стояния с перекрестьем сетки нитей оптического отвеса.

Приведение к горизонту. Приведите пузырек круглого уровня в нуль-пункт путем укорачивания ближней к центру пузырька ножки штатива либо путем удлинения дальней от центра пузырька ножки штатива. Отрегулируйте длину еще одной ножки штатива, чтобы привести пузырек в нуль-пункт. Приведите пузырек цилиндрического уровня в нуль-пункт. Для этого ослабьте горизонтальный закрепительный винт тахеометра и поворачивайте верхнюю часть инструмента до тех пор, пока цилиндрический уровень не станет параллельным линии, соединяющей подъемные винты А и В трегера (рисунок 3.6, а). Приведите пузырек уровня в нуль-пункт, используя подъемные винты А и В. Поверните инструмент на 90° (рисунок 3.6, б) и приведите пузырек в нуль-пункт, используя винт С. Поверните инструмент на 180° и проверьте положение пузырька. Если пузырек сместился из центра, то процедуру приведения инструмента к горизонту необходимо повторить.



Рисунок 3.5 – Фокусирование

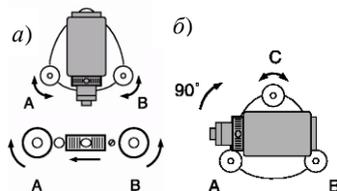


Рисунок 3.6 – Схема горизонтирования

Приведение к горизонту с помощью экрана. Нажмите клавишу **ON** (см. рисунок 3.2) для включения питания. Нажмите **НАКЛ** (наклон инструмента) на странице режима измерений (**F1**), чтобы вывести на экран изображение круглого уровня (рисунок 3.7). Символ «●» соответствует пузырьку круглого уровня. Внутреннему кругу соответствует диапазон отклонения вертикальной оси $\pm 3'$, а внешнему – $\pm 6'$. Величины углов наклона X и Y также выводятся на экран.

Поместите «●» в центр изображения круглого уровня. Для этого поворачивайте инструмент до тех пор, пока зрительная труба не станет параллельна линии, проходящей через два подъемных винта

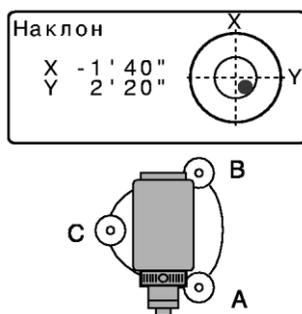


Рисунок 3.7 – Горизонтирование с помощью экрана

А и В, а затем зажмите горизонтальный закрепительный винт. Установите угол наклона равным 0° с помощью подъемных винтов А и В для направления X, и с помощью винта С – для направления Y. После приведения нажмите клавишу **ESC** для возврата в режим измерений.

3 Приобретение навыков фокусирования и визирования. Для наведения фокуса на сетку нитей выполните следующее. Наведите зрительную трубу на яркий и однородный фон. Глядя в окуляр, поверните кольцо окуляра до упора вправо, затем медленно вращайте его против часовой стрелки, пока изображение сетки нитей не станет сфокусированным. Частого повторения этой процедуры не требуется, поскольку глаз сфокусирован на бесконечность.

Чтобы навестись на цель, ослабьте вертикальный и горизонтальный закрепительные винты и затем, используя визир, добейтесь, чтобы цель попала в поле зрения. Зажмите оба закрепительных винта. Поверните фокусирующее кольцо так, чтобы изображение визирной цели стало четким. Вращением вертикального и горизонтального винтов точной наводки совместите изображение сетки нитей с центром визирной цели. Последнее движение каждого винта точной наводки должно выполняться по часовой стрелке. Используйте фокусирующее кольцо для подстройки фокуса до тех пор, пока не устранится параллакс между визирной целью и изображением сетки нитей.

4 Изучение функциональных возможностей выполнения измерений. После включения инструмент автоматически переходит в режим измерений. В нижней части экрана отображается строка с программными клавишами, а переключение между страницами экранов осуществляется с помощью клавиши **FUNC**. При нажатии на первой странице режима измерений клавиши **F2** на экране отображается меню инструмента (рисунок 3.8). В нем отражены все задачи, которые могут быть решены с помощью инструмента. Перемещение курсора вверх и вниз по функциям выполняют с помощью клавиш **{▲} {▼}**.

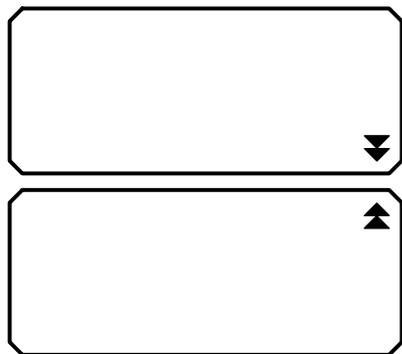


Рисунок 3.8 – Меню тахеометра

Структура меню:

- 1) *координаты* – для определения пространственных координат точки съемки на основе введенных заранее значений координат станции, высоты инструмента, высоты цели и дирекционного угла на точку ориентирования;
- 2) *вынос в натуру* – для нахождения на местности положения заданной точки;
- 3) *смещение* – используется для определения местоположения точки, на которой невозможно установить

отражатель, либо для определения расстояния и угла на точку, на которую нельзя непосредственно навестись;

4) *повторения* – для определения горизонтального угла с большей точностью, выполняя повторные измерения;

5) *определение НР* – метод определения непреступного расстояния; используется в тех случаях, когда надо измерить наклонное расстояние, горизонтальное проложение и разность высот между начальной точкой и любыми другими точками без перемещения инструмента;

6) *высота НО* – функция определения высоты недоступного объекта; используется для определения высот точек, на которые нельзя установить отражатель: провода линий электропередач, кабельные воздушные линии, мосты и т. д.;

7) *обратная засечка* – для определения положения точки посредством измерения углов (направлений) на определяемой точке, на три и более пункта с известными координатами;

8) *вычисление площади* – для вычисления площади участка, ограниченного линиями, соединяющими три или большее число известных точек, с указанием координат этих точек;

9) *вынос линии* – режим выноса линии; используется для выноса в натуру точки на заданном расстоянии от базовой линии, а также для определения расстояния от базовой линии до измеренной точки;

10) *проекция точки* – режим проецирования точки; используется для определения проекции точки на базовой линии.

Рассмотрим наиболее часто решаемые на практике задачи: измерение горизонтального и вертикального углов, определение магнитного азимута, измерение расстояний, определение пространственных координат точки.

1) *Определение горизонтального угла*. Чтобы измерить угол между направлениями на две точки, используют функцию обнуления. Для этого необходимо выполнить следующие действия:

а) навести зрительную трубу на первую визирную цель;

б) на первой странице режима измерений нажать кнопку **F4 (УСТ_0)**. Когда надпись **УСТ_0** начнет мигать, снова нажмите на кнопку **F4 (УСТ_0)**. Отсчет по горизонтальному кругу на первую визирную цель становится равным 0° (рисунок 3.9, а);

в) навести зрительную трубу на вторую визирную цель.

Отображаемый отсчет по горизонтальному кругу (**ГУП**) является углом, заключенным между направлениями на две точки (рисунок 3.9, б).

Нулевой отсчет по горизонтальному кругу может устанавливаться для любого направления. В отсчеты по вертикальному и горизонтальному кругам автоматически вводится поправка за небольшие наклоны, отслеживаемые двухосевым датчиком наклона инструмента.

Величина ошибки определения горизонтального угла (вследствие наклона вертикальной оси) зависит от наклона вертикальной оси. Если инструмент не приведен точно к горизонту, изменение значения вертикального угла при вращении зрительной

трубы приводит к изменению выводимого отсчета по горизонтальному кругу. Когда направление зрительной трубы близко к зениту или надиру, поправка за наклон в отсчеты по горизонтальному кругу не вводится.

Тахеометр имеет функцию учета коллимационной ошибки, которая автоматически исправляет ошибки измерения горизонтальных углов, вызванные неперпендикулярностью визирной оси и оси вращения зрительной трубы.

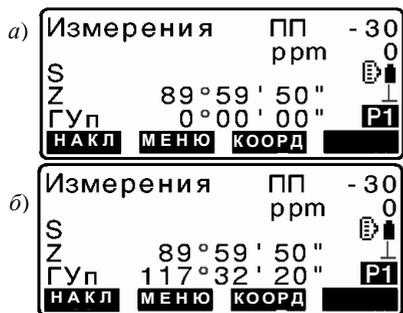


Рисунок 3.9 – Измерение горизонтального угла

2 Определение вертикального угла. Вертикальный угол для данного прибора определяется в режиме слежения автоматически (рисунок 3.10), т. е. при изменении положения зрительной трубы изменяется и само значение угла (движение объектива против часовой стрелки – угол увеличивается от 0 до 360°). На экране значение отображается символом **ВУ** (вертикальный угол).

Автоматически исправленные (с введенной поправкой за место нуля компенсатора) значения углов считываются только после того, как отображаемое значение угла станет устойчивым.

3 Определение магнитного азимута. Магнитный азимут можно определить двумя способами: 1) с помощью буссоли; 2) на точку обратного ориентирования.

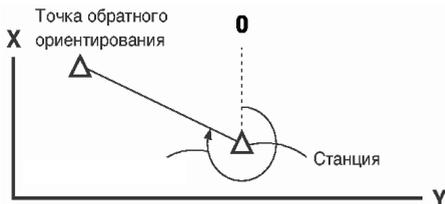


Рисунок 3.11 – Определение магнитного азимута

числяется на основе заданных координат станции и точки обратного ориентирования (см. рисунок 3.11).

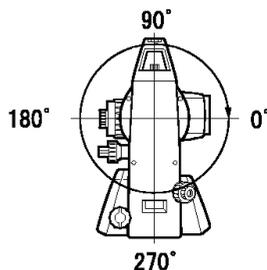


Рисунок 3.10 – Определение вертикального угла

В первом случае в специальный паз устанавливается буссоль (рисунок 3.11). Далее инструмент ориентируется на север, после чего повторяются действия для определения горизонтального угла, рассмотренные выше.

Магнитный азимут на точку обратного ориентирования вы-

В меню надо выбрать с помощью клавиш пункты «**Координаты**» далее «**Ориентация станции**», а затем «**Установка ГУ**». Выберите пункт «**Точка ориентирования**» и нажмите **РЕДКТ**, после чего введите координаты точки обратного ориентирования (ТО) (рисунок 3.12, а). Нажмите клавишу **ДА** (выводятся координаты станции). Снова нажмите **ДА** для установки координат станции, после чего наведите на точку обратного ориентирования и нажмите **ДА** для установки ее координат (рисунок 3.12, б).

Значение магнитного азимута выводится на экран (**ГУп**).

4 *Измерение расстояний*. Навести на цель. На второй странице режима измерений надо нажать клавишу **РАССТ**, чтобы начать измерение расстояния (рисунок 3.13, а). В момент измерений параметры дальномера (режим измерений, значения константы призмы и атмосферной поправки) мигают на экране (рисунок 3.13, б). Звучит короткий звуковой сигнал, затем отображается измеренное расстояние (*S*) и отсчеты по вертикальному кругу (**ВУп**) и горизонтальному кругу (**ГУп**) (рисунок 3.13, в). При нажатии клавиши **▲SDh** на экран выводятся наклонное расстояние (*S*), горизонтальное положение (*D*) и превышение (*h*) (рисунок 3.13, г).



Рисунок 3.12 – Изображение экрана при определении магнитного азимута



Рисунок 3.13 – Изображение экрана при измерении расстояний

5 *Определение пространственных координат точки.* Выполняя координатные измерения, можно определить пространственные координаты точки съемки на основе введенных заранее значений координат станции, высоты инструмента, высоты цели и дирекционного угла на точку ориентирования (рисунок 3.14). Вначале рулеткой следует измерить высоту инструмента и цели. Затем нажать клавишу **КООРД** на первой странице режима измерений (клавиша **F3**) для вывода экрана «Координаты», выбрать пункт «Ориентация станции», затем «Координаты станции». Нажать клавишу **РЕДКТ** (рисунок 3.15, а), после этого ввести значения координат станции, высоты инструмента и цели (рисунок 3.15, б) (если необходимо считать координаты из памяти, следует нажать клавишу **СЧИТ**), подтверждая каждое введенное значение клавишей **←**.

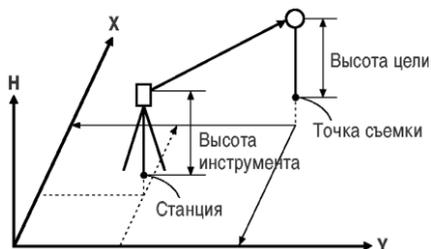


Рисунок 3.14 – Схема определения пространственных координат точки

«Ориентация станции», затем «Координаты станции». Нажать клавишу **РЕДКТ** (рисунок 3.15, а), после этого ввести значения координат станции, высоты инструмента и цели (рисунок 3.15, б) (если необходимо считать координаты из памяти, следует нажать клавишу **СЧИТ**), подтверждая каждое введенное значение клавишей **←**.

После ввода значений надо нажать клавишу **ЗАП** для записи данных о станции во встроенную память прибора. Подтверждение записи осуществляется клавишей **ДА**. Затем следует сориентировать прибор, установив магнитный азимут или дирекционный угол описанным выше способом.

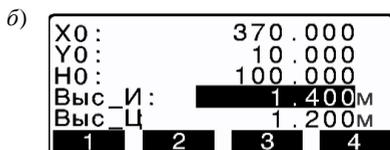
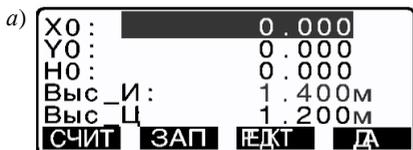


Рисунок 3.15 – Изображение на экране при вводе данных о станции

Навести луч зрительной трубы на отражатель, установленный над точкой съемки, затем нажать клавишу **КООРД** на первой странице режима измерений (клавиша **F3**) для вывода экрана «Координаты», выбрать пункт «Наблюдения» и нажать клавишу **←** для начала процесса измерений (рисунок 3.16, а). После остановки на экране отображаются значения пространственных координат наблюдаемой точки (**X, Y, H**) (рисунок 3.16, б).

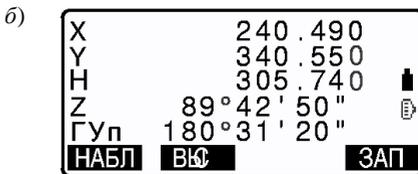
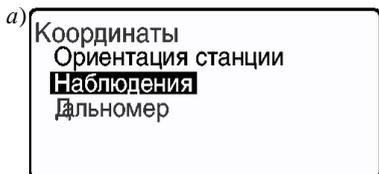


Рисунок 3.16 – Изображение на экране при измерении координат точки

Координаты цели вычисляются с использованием следующих формул:

$$X_1 = X_0 + S \sin Z \cos A_z;$$

$$Y_1 = Y_0 + S \sin Z \sin A_z;$$

$$H_1 = H_0 + S \cos Z + \text{ВИ} - \text{ВЦ},$$

где X_0 – координата X станции; S – наклонное расстояние; Z – зенитное расстояние; A_z – магнитный азимут; Y_0 – координата Y станции; H_0 – координата H станции; ВИ – высота инструмента; ВЦ – высота цели.

Лабораторная работа № 4

ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И РАБОТА С ЭЛЕКТРОННЫМ ТАХЕОМЕТРОМ «Leica TS06»

Цель работы. Изучить устройство тахеометра «Leica TS06», овладеть приемами работы с ним и приобрести первичные навыки в применении прикладных программ прибора.

Приборы и принадлежности. Тахеометр «Leica TS06», штатив, телескопическая рейка с призмным отражателем.

1 КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

Требования, предъявляемые к качеству и точности строительно-монтажных работ, привели к созданию целого ряда приборов нового поколения. К таким приборам относятся электронные тахеометры.

Электронный тахеометр – это инструмент для измерений, вычислений и записи данных. «Leica TS06» подходит как для обычных съемок, так и для решения целого ряда более сложных задач. Прибор оснащен встроенным программным обеспечением Flex Field для решения всех этих задач. Различные версии приборов этой серии имеют разную точность и свой набор функциональных возможностей. Все они могут подключаться для камеральной обработки к программе Flex Office для просмотра данных, управления ими и обменов.

Встроенное ПО Flex Field устанавливается на сам прибор. Этот программный пакет включает базовую операционную систему и выбираемый пользователем набор приложений. Программное обеспечение Flex Office включает набор утилит и приложений для просмотра данных, постобработки, обмена данными и управления ими. Обмен данными между инструментами серии Flex Line и компьютером осуществляется с помощью коммуникационного кабеля.

2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1 Изучение устройства тахеометра «Leica TS06». На рисунке 4.1 представлено устройство электронного тахеометра «Leica TS06». Основные части прибора: 1 – отсек для хранения USB-флешки и USB-кабеля; 2 – антенна Bluetooth; 3 – оптический визир; 4 – съемная транспортировочная ручка с установочным винтом; 5 – лазерный маячок (EGL); 6 – объектив со встроенным дальномером (EDM). Выход лазерного луча; 7 – микрометрический винт вертикального круга; 8 – кнопка включения; 9 – триггер; 10 – микрометрический винт горизонтального круга; 11 – вторая клавиатура; 12 – фокусирующее кольцо объектива; 13 – фокусирующее кольцо окуляра; 14 – крышка аккумуляторного отсека; 15 – порт RS232; 16 – подъемный винт; 17 – дисплей; 18 – клавиатура.

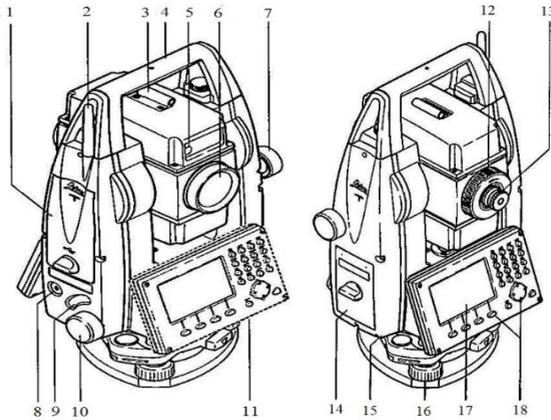


Рисунок 4.1 – Тахеометр Leica TS06

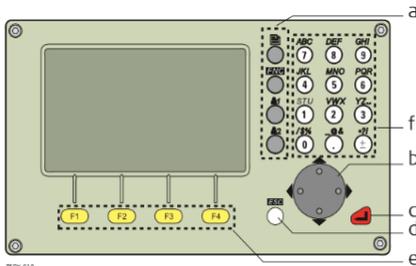


Рисунок 4.2 – Алфавитно-цифровая клавиатура

Перед началом измерений необходимо ознакомиться с алфавитно-цифровой клавиатурой (рисунок 4.2). Основные функции панели управления прибора: *a* – фиксированные клавиши; *b* – навигационная клавиша; *c* – кнопка **ENTER**; *d* – кнопка **ESC**; *e* – функциональные клавиши F1–F4; *f* – алфавитно-цифровая панель.

2 Основные действия. Установка тахеометра. *Важные рекомендации:* следует защищать прибор от прямых солнечных лучей и стараться избегать ситуаций с резкими перепадами температур вблизи него.

При установке инструмента старайтесь обеспечивать близкое к горизонтальному положение головки штатива. Небольшие коррекции при этом могут быть сделаны с помощью подъемных винтов подставки. Если наклон слишком велик, то изменить его можно выдвиганием соответствующих ножек штатива. Выдвиньте ножки штатива на удобную высоту. Установите штатив в более-менее центрированное положение над твердой точкой.

Установите на штатив тахеометр в надежном положении. Включите инструмент. Если в его настройках задана коррекция наклона по одной или двум осям, то лазерный отвес включится автоматически, а на дисплее появится окно «Уровень/Отвес». В других ситуациях нажмите на кнопку **FNC** из того приложения, которое на данный момент активно и выберите окно **УРОВЕНЬ/ОТВЕС**.

Электронный уровень (рисунок 4.3) предназначен для точного горизонтирования тахеометра с помощью подъемных винтов подставки. Пузырек электронного уровня и стрелки, указывающие нужное направление вращения подъемных винтов, появятся на дисплее, если наклоны инструмента находятся в допустимых пределах.

Приводим электронный уровень в нуль-пункт по первой оси, вращая два подъемных винта. Стрелки показывают направление для вращения подъемных винтов. Когда электронный уровень будет приведен в нуль-пункт, эти стрелки будут заменены маркерами. Затем приводим электронный уровень по второй оси, вращая третий подъемный винт. Стрелка указывает нужное направление его вращения. Когда уровень будет приведен в нуль-пункт, стрелка будет заменена маркером.

Появление трех маркеров на дисплее означает, что инструмент точно отгоризонтирован.

3 Главное меню является стартовым окном для доступа к функциональным возможностям инструмента. Оно обычно открывается сразу после включения тахеометра или после окна «Уровень/Отвес». Вид окна «Главное меню» показан на рисунке 4.4. Главное окно позволяет воспользоваться следующими возможностями для работы с инструментом:

1 Q-съемка (программа «Ускоренная съемка» позволяет сразу приступить к выполнению съемочных работ).

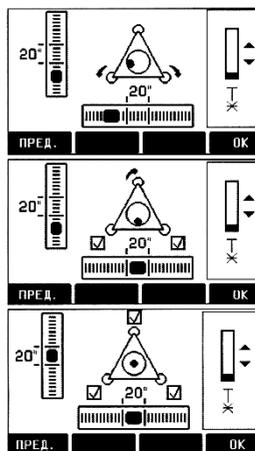


Рисунок 4.3 – Электронный уровень



Рисунок 4.4 – Главное меню тахеометра

2 Программы (выбор и запуск нужного приложения).

3 Управление (управление проектами, данными, списками кодов, форматами и файлами в системной памяти).

4 Данные (экспорт и импорт данных).

5 Настройка (позволяет выполнять изменение настроек дальномера EDM, коммуникационных параметров и общих настроек тахеометра).

6 Инструментарий (доступ к средствам поверки и калибровки тахеометра, настройки порядка его включения, изменение PIN-кода, лицензионного ключа и системных сообщений).

4 Изучение возможностей окна «Программы». После выбора окна «Программы» в главном меню мы получаем доступ к приложениям, которые являются готовыми программными модулями, позволяющими решать широкий круг задач и обеспечивают выполнение работ в поле. Доступен следующий набор приложений:

- точка стояния (приложение, запускаемое для определения координат и ориентирования точки стояния прибора. Возможно установление точки стояния следующими способами: ориентирование по углу, по координатам, засечка);

- съемка (данное приложение может работать с практически неограниченным количеством точек);

- разбивка (применяется для выноса в натуру проектных точек, которые называются разбивочными. Координаты разбивочных точек могут находиться в файле «Проект» или могут вводиться с клавиатуры. В ходе работы это приложение постоянно выводит на дисплей отклонения текущего положения от проектного. Проекты можно выносить в натуру полярным способом или методом прямоугольных координат);

- базовый элемент (является приложением, которое используется при выносе проектов в натуру и контроле осей, например, зданий, дорог или земляных работ. С помощью этого приложения можно задать базовую линию и, опираясь на эту линию, выполнить продольный и поперечный сдвиг, вынос точек, разбивку строительной сетки, сегментирование линии);

- базовая дуга (позволяет задавать эту дугу и выполнять продольный и поперечный сдвиг, разбивку. Опорная дуга задается центральной и начальной точками, начальной, конечной точками и радиусом или тремя точками);

- косвенные измерения (это приложение позволяет вычислять наклонные расстояния, горизонтальные проложения, превышения и дирекционные углы между двумя точками, на которые были выполнены измерения);

- площади и объемы (позволяет вычислять площади участков, ограниченных максимум 50 точками, соединенными отрезками прямой. Эти точки должны быть измерены либо заданы с клавиатуры с расположением их по часовой стрелке);
- недоступная отметка (используется для вычисления высотных отметок недоступных для непосредственных измерений точек, расположенных над пунктом установки отражателя);
- строительство (используется для работы на строительных площадках. Оно позволяет точно устанавливать инструмент на проектной строительной оси для измерений и выноса в натуру точек относительно этой оси);
- координатная геометрия – COGO (предназначено для выполнения вычислений по формулам координатной геометрии, расстояний, дирекционных углов между точками и их координат. В COGO используют следующие методы расчетов: обратная задача и траверс, засечки, сдвиг, продление);
- ROAD 2D (используется для измерений или выноса в натуру точек дорожных проектов относительно заданных элементов. Таким элементом может быть прямая, дуга или клотоида. В качестве данных могут быть пикетаж, шаг разбивки и сдвига);
- ROAD 3D (предназначено для выноса в натуру дорожных проектов, а также для контроля основных элементов дороги, включая уклоны);
- базовая плоскость (используется для определения положения нескольких точек относительно заданной базовой плоскости. Может использоваться для решения следующих задач: измерения на точку для определения ее отстояния по перпендикуляру от плоскости, вычисления длин перпендикуляров от проекции точки на плоскость).

Лабораторная работа № 5

ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ ЦИФРОВЫМ НИВЕЛИРОМ «TRIMBLE DINI 22»

Цель работы. Изучить устройство цифрового нивелира «TRIMBLE DINI 22», овладеть приемами работы с ним и приобрести навыки в применении прикладных программ прибора.

Приборы и принадлежности. Цифровой нивелир «TRIMBLE DINI 22», штатив, штрих-кодовая рейка.

1 КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

Цифровой нивелир – это тот же оптический нивелир, только с автоматическим сбором, хранением и обработкой данных. Поэтому все основные

условия для выполнения высокоточных измерений, обусловленные для оптических нивелиров, должны соблюдаться и для цифровых нивелиров.

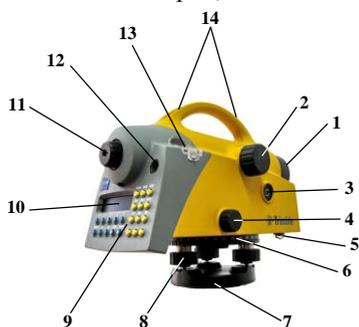


Рисунок 5.1 – Цифровой нивелир «Dini 22»

На рисунке 5.1 представлена схема устройства цифрового нивелира «Dini 22». Основные части прибора: 1 – объектив с солнцезащитной блендой; 2 – кремальера для фокусировки резкости; 3 – кнопка измерений; 4 – «бесконечный» горизонтальный наводящий винт; 5 – аккумуляторный отсек; 6 – внешний лимб; 7 – трегер; 8 – подъемные винты; 9 – клавиатура; 10 – дисплей; 11 – окуляр; 12 – окошко круглого уровня; 13 – защитная крышка (снимается при юстировке круглого уровня); 14 – визир.

Третье поколение цифровых нивелиров «Dini 22» компании «Trimble» включает новые особенности, которые были обусловлены требованиями к современным геодезическим приборам. В отличие от оптических нивелиров предыдущих поколений, все полученные данные записываются во встроенную память «Dini 22» с помощью клавиш управления (включая функциональные клавиши), расположенных на панели по группам, в зависимости от их назначения, обеспечивающих простую, удобную и быструю работу с инструментом.

Кнопки на правой стороне панели управления используются для активизации функций, после выполнения которых инструмент возвращается в предварительно выбранную программу измерений.

Если определенные функции нельзя активизировать в данный момент, то нажатие кнопки игнорируется. Ввод алфавитно-числовой информации возможен при активизации функций ввода, выполнение других операций в этом случае невозможно. Редактирование или удаление уже введенной информации происходит с помощью функциональных клавиш.

Интерфейс представлен на английском (или немецком) языке, поэтому приведем описание главного меню прибора:

1 Input (установка постоянных инструмента):

- 1) max. sighting distance (максимальная длина плеча);
- 2) min. sighting height (минимальная высота визирования);
- 3) max. station difference (максимальная разница превышений на станции);
- 4) Refraction coefficient (коэффициент рефракции);
- 5) Addition constant (offset) (постоянная рейки).

2 Adjustment (current values, status of refraction and earth curvature) (юстировка положения визирной оси (текущие значения, ввод поправок за рефракцию и кривизну Земли)):

- 1) Forstner method (метод Ферштнера);
 - 2) Nabauer method (метод Набауэра);
 - 3) Kukkamaki method (метод Куккамэки);
 - 4) Japanese method (метод японский).
- 3 Data transfer (передача данных):
- 1) Interface 1 (интерфейс 1):
 - a) Dini → peripheral unit (Dini → периферийное устройство);
 - б) Peripheral unit → Dini (периферийное устройство → Dini);
 - в) Parameter setting (установка параметров);
 - 2) Interface 2 (интерфейс 2, см. интерфейс 1);
 - 3) PC DEMO;
 - 4) update/service (обновление/обслуживание);
 - a) IMEM initialization (инициализация памяти);
 - б) Update Dini (обновление п/о Dini).
- 4 Setting of recording (установка параметров записи):
- 1) Recording data (запись данных):
 - a) Remote control (дистанционное управление);
 - б) Recording (запись);
 - в) Recording data (тип данных);
 - г) PNO increment (приращение номеров точек);
 - 2) Parameter setting (установка параметров):
 - a) Format (формат данных);
 - б) Protocol (протокол передачи данных);
 - в) Baudrate (скорость);
 - г) Parity (четность);
 - д) Stop bits (стоповые биты);
 - е) Time out (пауза);
 - ж) Line feed (перевод строки).
- 5 Instrument settings (установка параметров инструмента):
- 1) Height in (единицы измерения высот);
 - 2) INP function (единицы измерения высот (визуальные измерения));
 - 3) Display R (дискретность отсчета);
 - 4) Shut off (автоматическое отключение инструмента);
 - 5) Acoustic signal (звуковой сигнал);
 - б) Language (язык интерфейса).
- Клавиатура и дисплей панели управления (рисунок 5.2):
- ON/OFF – включение и выключение прибора;
- MEAS – измерение;
- DIST – отдельное измерение расстояний;
- MENU – главное меню;
- INFO – основные параметры инструмента;
- DISP – пролистывание или выбор данных, выводимых на дисплей;

- PNr – ввод индивидуального/последующего номера точки;
- REM – ввод кода точки и дополнительной информации;
- EDIT – редактирование памяти;
- RPT – многократные измерения;
- INV – переключение между режимами измерений по прямой и обратной рейке;
- INP – ввод измеренных величин вручную (при визуальном считывании);
- 0...9 – клавиши для ввода числовых значений;
- +/- – ввод положительной/отрицательной величины;
- , – десятичная запятая;
- ▼▲ – прокрутка информации на дисплей.



Рисунок 5.2 – Клавиатура и дисплей «Dini 22»

2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Приведение в рабочее положение. Установка. Освободить зажимы 2 (рисунок 5.3) ножек штатива 1, выдвинуть их до удобной для Вас высоты (зрительная труба должна находиться приблизительно на уровне глаз) и закрепить. Установить штатив приблизительно в горизонтальном положении и вдавить ножки штатива в землю. Установить нивелир на штатив и закрепить его с помощью станového винта.

Инструмент должен располагаться посреди головки штатива 3. Подъемные винты нивелира должны находиться в среднем положении.

Грубое горизонтирование. Вывести пузырек круглого уровня 4 в нуль-пункт с помощью ножек штатива 1.

Точное горизонтирование. Повернуть инструмент так, чтобы плоскость лицевой панели была параллельна плоскости любых двух подъемных винтов. С помощью подъемных винтов отгоризонтировать инструмент в плоскости визирной оси нивелира и перпендикулярной ей плоскости.

Проверить точность горизонтирования путем вращения инструмента вокруг его вертикальной оси на 180° . Пузырек уровня должен оставаться в нуль-пункте. При необходимости следует повторить процедуру.

В любом случае горизонтальное отклонение визирной оси должно оставаться в пределах рабочего диапазона компенсатора инструмента ($\pm 15'$).

Фокусировка сетки нитей. Навести инструмент на светлую, равномерно освещенную поверхность и вращать окуляр до тех пор, пока сетка нитей не будет четко отображаться (во избежание повреждения глаз никогда не надо визировать на Солнце или интенсивные источники света).

Фокусировка зрительной трубы. Наведите инструмент на рейку и выполните фокусировку с помощью кремальеры так, чтобы деления рейки четко отображались в окуляре. Фокусировка считается безупречной, если изображение сетки нитей и деления рейки не смещаются относительно друг друга при изменении угла зрения (движение глаза перед окуляром из стороны в сторону).

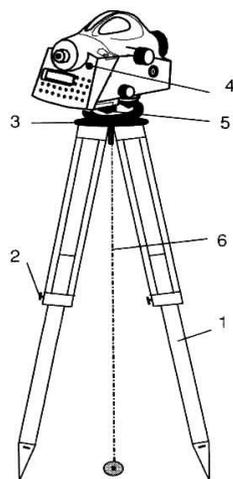


Рисунок 5.3 – Приведение в рабочее положение

Возможности и схемы программ нивелира. *Измерение направлений.*

С помощью «Dini 22» можно легко выполнять измерения направлений и проводить разбивочные работы. Считывание горизонтального направления происходит по отсчетному индексу горизонтального лимба (рисунок 5.4). Лимб оцифрован до 1° , что позволяет взять отсчет до $0,1^\circ$.

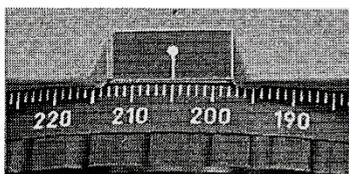
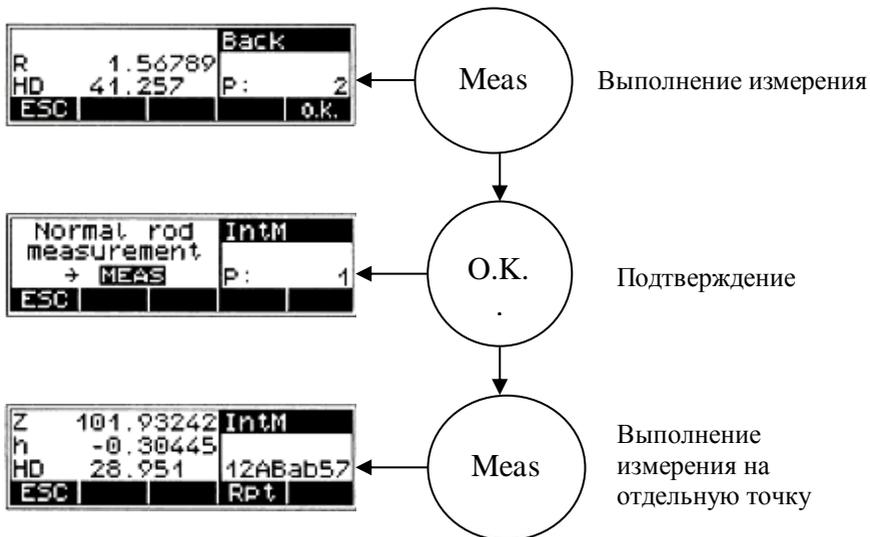


Рисунок 5.4 – Индекс лимба «Dini 22»

Высотные измерения. Для определения высоты используется метод осреднения результатов измерений (состоящих из кода и интерполированной величины) по двум 15-сантиметровым интервалам рейки. Для точного распознавания реечных интервалов и их закодированной информации необходимо, чтобы изображение рейки было четко сфокусировано на сетке нитей нивелира. Обычно колебания фокусировки не оказывают существенного влияния на результат измерения.

Измерения расстояний. В нивелире «Dini 22», расстояния до реек определяются вместе с превышениями. Расстояние – это горизонтальное проложение между вертикальной осью инструмента и плоскостью оцифровки

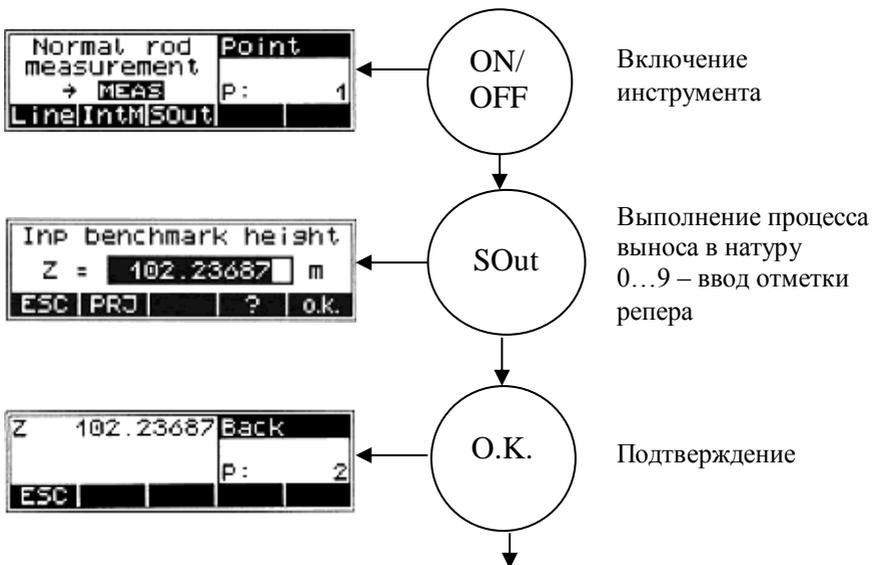


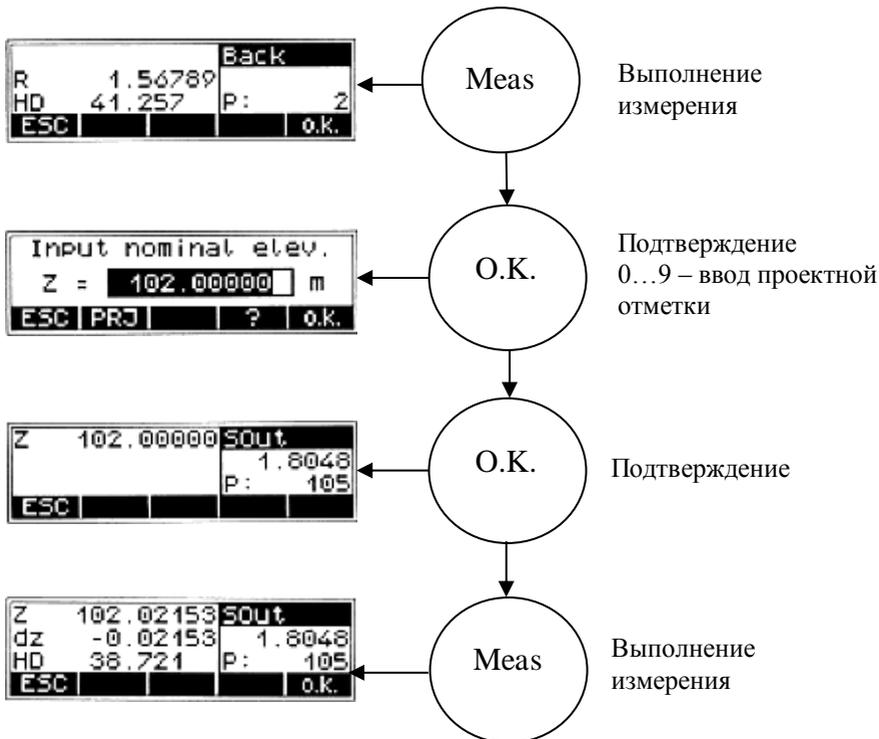
Z – отметка отдельной точки;

h – превышение между репером и отдельной точкой;

HD – отчет по рейке на отдельную точку.

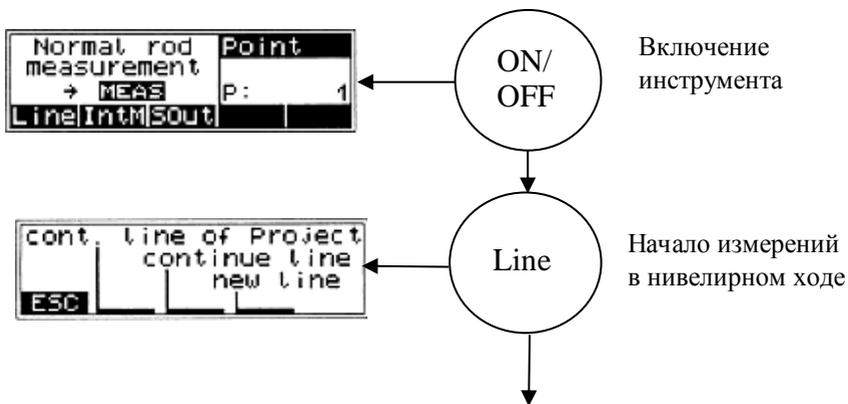
Схема процесса выноса точек в натуру:

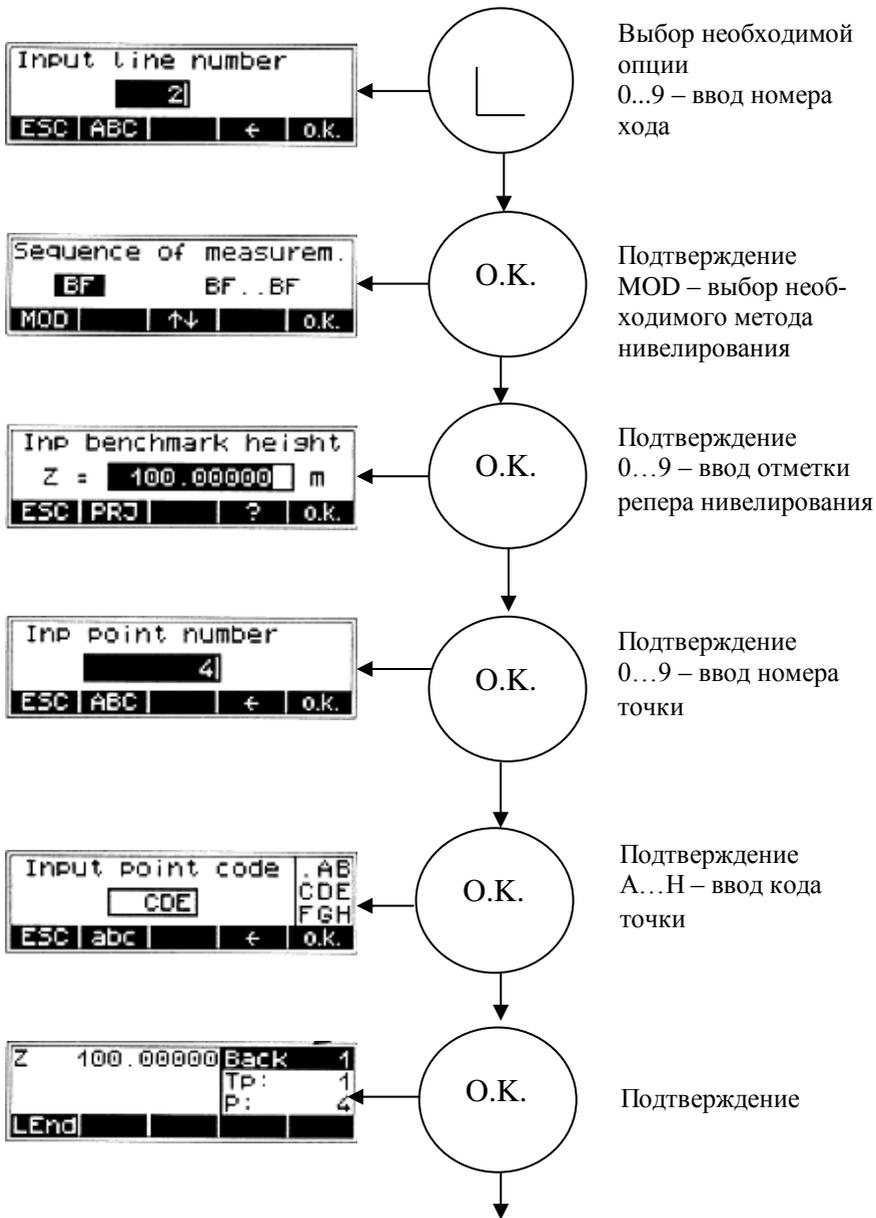


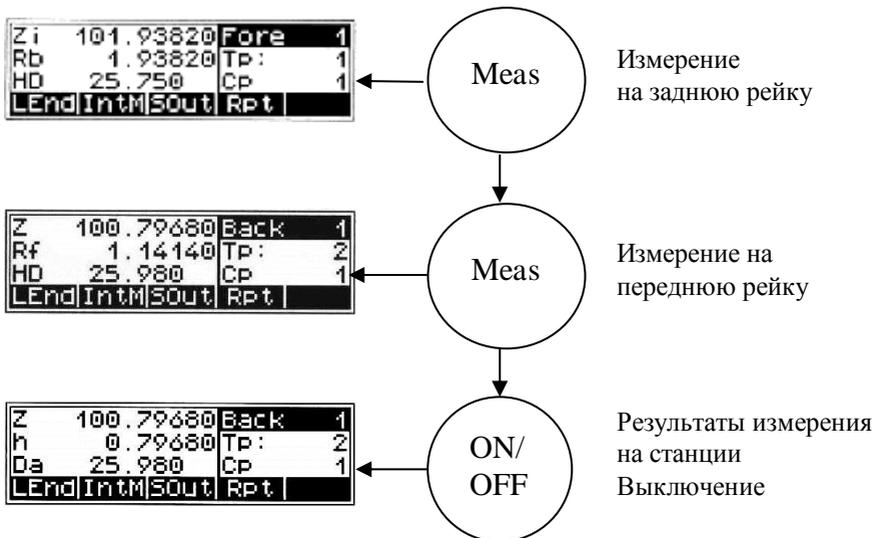


В соответствии с получаемыми значениями разницы между фактической и проектной отметками (dz), рейка должна сдвигаться, а измерения – повторяться до тех пор, пока dz останется несущественной.

Схема измерения на станции нивелирного хода:







Z – отметка точки установки передней рейки;

h – превышение;

Da – среднее значение длины переднего плеча.

На следующей станции последовательность действий повторяется.

Данные, записанные во внутренней памяти, могут сохраняться минимум год. Объем внутренней памяти зависит от режима измерений, типа, количества данных и составляет примерно 2200 строк с данными. По окончании работ данные с помощью кабеля передаются на ПК. Выведенная на ПК информация представляет собой текстовый файл, который можно использовать для дальнейшей обработки с помощью специальных программ.

Лабораторная работа № 6

СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

Цель работы. Ознакомить с современными и перспективными способами геодезических измерений и обработки информации.

1 КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

1.1 Технология наземного лазерного сканирования

В последнее время технология наземного лазерного сканирования все шире используется для решения задач инженерной геодезии в различных

областях строительства и промышленности. Растущая популярность лазерного сканирования обусловлена целым рядом преимуществ, которые дает новая технология по сравнению с другими методами измерений, главные из которых – повышение скорости работ и уменьшение трудозатрат.

Технология наземного лазерного сканирования стала возможна благодаря появлению новых геодезических приборов – наземных лазерных сканеров (НЛС) (рисунок 6.1).

Принцип работы сканера аналогичен принципу работы безотражательного электронного тахеометра, но значительно превосходит его по эффективности и основан на измерении расстояния до объекта с помощью безотражательного лазерного дальномера и задании двух углов направления лазерного луча, что в конечном итоге дает возможность вычислить пространственные координаты точки отражения. За самое короткое время объект съемки представляется в виде набора из сотен тысяч или миллионов точек.

С целью обеспечения наиболее высокой точности сканирования необходимо выполнить прогрев лазерного сканера в течение времени, установленного производителем, который позволит вывести сканер на максимально стабильный режим работы и ввести параметры атмосферы (температуру и давление).

Съемка с применением НЛС полностью автоматизирована, поэтому участие оператора сводится только к указанию области съемки и заданию ее параметров. Процесс сканирования никаких сложностей не представляет и зависит только от используемого программного обеспечения. Но в любом случае на экране портативного компьютера на предварительно получаемом изображении (с помощью фото- или видеокамеры, которые входят в состав НЛС) нужно выделить тем или иным способом область сканирования, указать параметры сканирования и запустить процесс съемки.

Плотность точек на поверхности снимаемого объекта определяется параметрами сканирования – задаваемым количеством измеряемых точек и расстоянием до объекта.

В результате съемки лазерным сканером получается несколько облаков точек. Для того чтобы измерить сложный инженерный объект полностью,



Рисунок 6.1 – Лазерный сканер «Leica C10»

его нужно отсканировать со всех сторон. Основной формой представления результатов наземного лазерного сканирования является массив (облако) точек (рисунок 6.2) лазерных отражений от объектов, находящихся в поле зрения сканера, со следующими характеристиками: пространственными координатами (X, Y, Z), интенсивностью и реальным цветом. По облаку точек можно решать различные задачи:

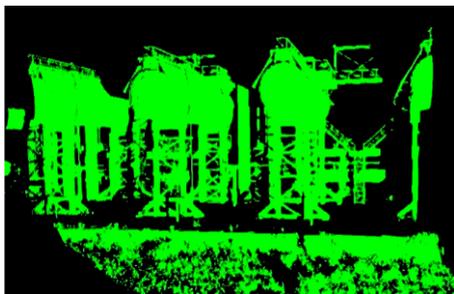


Рисунок 6.2 – Облако точек лазерного сканирования (скан)

- составление трехмерной модели объекта;
- получение чертежей, в том числе чертежей сечений;
- выявление дефектов и различных конструкций посредством сравнения с проектной моделью;
- определение и оценка значений деформации путем сравнения с ранее произведенными измерениями;
- получение топографических планов методом виртуальной съемки.

Наиболее сложным и трудоемким этапом работы в применении НЛС является обработка съемочных данных, т. е. объединение отдельных сканов (шивка) в единое геометрическое пространство для получения описания объекта съемки (рисунок 6.3). Шивка (или регистрация) представляет собой уравнивание данных сканирования с разных станций в единую систему координат.

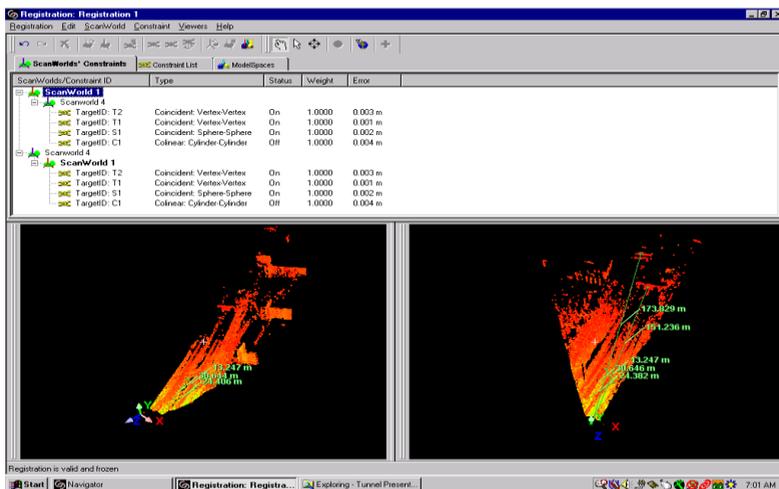


Рисунок 6.3 – Объединение (шивка) сканов в единое облако точек

Существует несколько методов сшивки:

- по специальным плоским маркам-отражателям (расклеиваются на объекте и сканируются отдельно во время полевого этапа);
- маркам-сферам (аналогично плоским маркам);
- характерным точкам (не требует на полевом этапе использования марок вообще);
- автоматическая подгонка (программный способ сшивки, когда итерационный алгоритм смещает один скан относительно другого и находит оптимальное положение по минимальному расстоянию между точками этих сканов);
- геопривязка (позволяет привязать каждый скан или все измерения в заданную систему координат).

Для построения крупномасштабных планов оптимальным является первый способ. Хотя, в отличие от сшивки по характерным точкам, он требует дополнительной работы в поле (развешивания и последующего собирания марок). Сшивка по специальным плоским маркам-отражателям дает большую точность сшивки, а также уменьшает время камеральных работ. Сшивка методом автоматической подгонки или по характерным точкам мало подходит для высокоточных измерений из-за влияния вероятностного расположения исходных точек сканирования, которое не позволяет точно контролировать результаты сшивки, но это единственные методы сшивки, которым можно воспользоваться в случаях съемки объектов, размещение светоотражающих марок на которых не представляется возможным или связано с большими трудностями. Например, при съемке воздушного газопровода, свода крыши и т. д. Перед передачей в САД-программы шитые облака точек необходимо обработать. Эти работы можно производить в программном обеспечении, например *Cyclone*, которое позволяет оперативно обрабатывать сотни миллионов точек благодаря системе управления *уровнем детализации (Level of Detail)* отображаемой графической информации.

Существует программный инструментарий, позволяющий выделить слой точек, лежащих в определенном сечении облака точек и на заданном расстоянии от него. По результатам отфильтрованного облака точек, лежащего в таком слое, можно получить векторные изображения объектов, спроецировав оставшиеся точки в плоскость сечения и соединив соседние точки отрезками прямых.

Полученное векторное изображение объектов дорабатывается до получения планов с отображением конструкций, расстановкой размеров и нанесением иной технической информации в условных обозначениях, принятых в технической инвентаризации в САД-программах.

Высокая оперативность сбора пространственных данных об объектах съемки делает наземное лазерное сканирование весьма перспективным методом получения информации при организации мониторинга сложных инженерных сооружений.

1.2 Спутниковые радионавигационные системы

В настоящее время в геодезии, где требуется знание положения объектов в пространстве, широко применяются спутниковые радионавигационные системы (СРНС). К ним относятся глобальная система «NAVSTAR GPS» (Navigation Satellite Timing and Ranging Global Positioning System – США), ГЛОНАСС (ГЛОбальная НАвигационная Спутниковая Система – Россия), Galileo (Европа) и др.

Спутниковая система «NAVSTAR GPS» (или кратко – GPS). Сейчас она является наиболее распространенной и широко используемой. Система состоит из трех сегментов (рисунок 6.4): космического, наземного и пользователей.

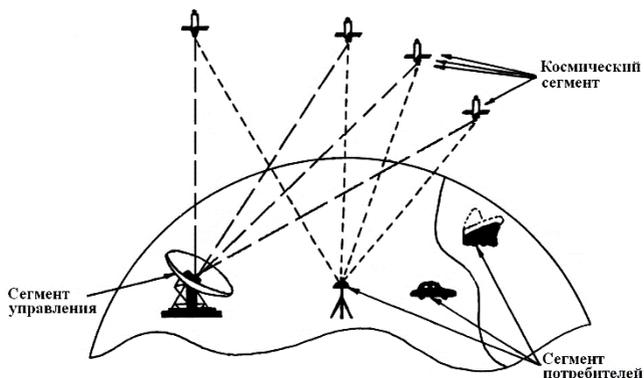


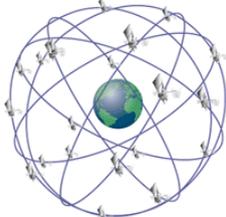
Рисунок 6.4 – Сегменты СРНС

Космический сегмент включает 24 искусственных спутника Земли (ИСЗ), обращающихся вокруг Земли по шести орбитам, близким к круговым, на высоте около 20 183 км, чему соответствует период обращения, равный половине звездных суток (11 ч 57 мин 58,3 с). Наклонение орбит – 55° . При этом в любом месте Земли, если нет заслоняющих препятствий, обеспечена одновременная видимость на высоте более 15° от 4 до 11 спутников (рисунок 6.5).

Подсистема космических аппаратов ГЛОНАСС



Подсистема космических аппаратов GPS



Подсистема космических аппаратов Galileo

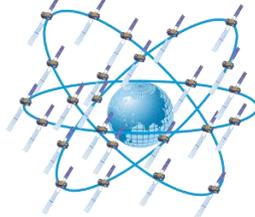


Рисунок 6.5 – Космический сегмент систем ГЛОНАСС, GPS и Galileo

На каждом спутнике установлены: водородный стандарт частоты и времени, генерирующий опорную частоту 10,23 МГц с суточной нестабильностью 10^{-14} – 10^{-15} и формирующий несущие частоты радиоизлучения L1 и L2, радиопередатчик (для посылки сигналов потребителям) и приемник (для приема информации от наземного сектора управления). Кроме того, имеются бортовой вычислительный процессор, солнечные батареи, аккумуляторы, системы ориентации и коррекции орбиты.

Наземный сегмент управления определяет параметры орбит и ошибки часов спутников, исполняет закладку навигационной информации на спутники и контроль функционирования технических средств системы. В состав сектора входят главная контрольная станция, станции слежения, управляющие станции (рисунок 6.6).

Сегмент пользователей представляет собой множество технических средств, находящихся на поверхности Земли, в воздухе или околоземном космическом пространстве и выполняющих прием информации со спутников для измерения параметров, которые связывают положение аппаратуры пользователя с расположением спутников (рисунок 6.7). В результате обработки измеренных параметров получают координаты приемника пользователя, а при необходимости и скорость его движения.



Рисунок 6.6 – Оборудование «Leica» для базовых GPS станций ATHENA Program



Рисунок 6.7 – Полевые геодезические приемники «Leica Sistem 1200GNSS»

Спутниковая радионавигационная система «ГЛОНАСС» разработана в 70-е годы на основе опыта эксплуатации предшествующей доплеровской СРНС «Цикада». Первые спутники системы «ГЛОНАСС» («Космос-1413», «Космос-1414» и «Космос-1415») были запущены в 1982 г. Далее сеть спутников наращивалась с темпом 1–2 запуска в год. В 1988–1991 гг. началась эксплуатация системы. С 1995 г. она используется для гражданских целей. Параметры системы «ГЛОНАСС» приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Параметры СРНС

Параметры	«ГЛОНАСС»	«GPS»	«Galileo»
Число ИСЗ в системе	24	24	30
Число орбит	3 (через 120°)	6 (через 60°)	3
Число ИСЗ на орбите	8 (через 45°)	4 (через 90°)	10
Тип орбиты	Круговая	Круговая	Круговая
Высота орбиты	19 100 км	20 145 км	23229 км
Наклонение орбиты	64,8°	55°	56°
Период обращения	11 ч 15 мин 44 с	11 ч 57 мин 58,3 с	14 ч 4 мин 45 с
Система координат	ПЗ-90	WGS-84	GTRF

В системе «ГЛОНАСС» излучаемые спутниками частоты также модулированы дальномерными кодами и навигационным сообщением. Но в отличие от GPS коды всех спутников одинаковы, а разделение сигналов различных спутников – частотное.

Для производства измерений датчик устанавливают на штативе или на полугоризонтальной штанге, применяемой для выполнения кратковременных измерений. Управление приемником выполняется с помощью клавиатуры и дисплея контроллера.

Режимы наблюдений спутниковыми приемниками подразделяются на абсолютные и относительные. При *абсолютных* наблюдениях, используя кодовые измерения, определяют координаты пунктов, а при *относительных* – приращения координат (иногда их называют вектором базы между пунктами).

В геодезической практике чаще используются относительные измерения как наиболее точные. Существует несколько режимов относительных наблюдений, которые в свою очередь подразделяются на две группы: *статические* и *кинематические*. При любом режиме относительных измерений один из приемников находится на пункте с известными координатами, а другие – на определяемых пунктах. Статический режим наблюдений как наиболее точный является основным методом при создании сетей, однако он требует наибольших временных затрат. Время измерения одного пункта колеблется от 40 минут до нескольких часов (в зависимости от требуемой точности измерений, числа и расположения наблюдаемых спутников, состояния ионосферы и т. п.).

Разновидностью статического режима измерений является быстрая статика, при которой время наблюдений может быть сокращено до 10–15 минут. Информацию о необходимом времени наблюдений оператор получает от приемника, когда получен достаточный объем информации. Чтобы избежать неоднозначности при обработке результатов наблюдений, практикуют возврат приемника на ранее определенный пункт или меняют местами антенны.

При кинематическом режиме измерений передвижной приемник, который иногда называют *роверным* (*rover* – скиталец), устанавливают в определенных пунктах на короткое время. Такой метод называют «стой и иди» (*stop and go*). Кинематический режим измерений начинают с инициализации, т. е. с начальных измерений, при которых выполняется разрешение неоднозначности.

Для инициализации оба приемника устанавливают в нескольких метрах друг от друга; время измерений составляет примерно 15 минут. Если роверный приемник устанавливают вдалеке от опорного, то время инициализации увеличивается и может достигать 1 ч.

После завершения инициализации роверный приемник переключают в режим кинематики и перемещают к следующему определяемому пункту. При перемещении роверный приемник должен оставаться в рабочем режиме и обеспечивать прием сигналов от не менее четырех одних и тех же спутников. На крытой местности, особенно под мостами, могут возникать срывы непрерывных измерений, о чем приемник информирует наблюдателя звуковым сигналом и записью на дисплее. В таком случае необходимо вернуться на один из ранее определенных пунктов или перейти в режим статичности и повторить инициализацию приемников. При установке роверного приемника на определяемом пункте оператор записывает его название (или номер), определяет высоту приемника над пунктом и вводит эти данные в приемник.

Разновидностью кинематического режима наблюдений без инициализации приемников является *кинематика «в полете»* (*On The Fly* – OTF). Он используется в тех случаях, когда есть уверенность, что время непрерывного приема достаточного числа спутников составляет не менее 20 минут. За это время накапливается достаточное количество информации для успешного разрешения неоднозначности.

При необходимости выполнить обработку результатов наблюдений на роверном приемнике одновременно с измерениями используют режим «кинематика в реальном времени» (*Real Time Kinematics* – RTK). С этой целью на опорном приемнике устанавливают радиомодем, который обеспечивает дополнительную цифровую радиосвязь с роверными приемниками, снабженными также приемными радиомодемами. На опорном приемнике вычисляют необходимые поправки в результаты измерений и передают на ро-

верные приемники. На роверных приемниках осуществляется обработка результатов фазовых измерений с учетом принятых поправок. Время получения приращений координат занимает несколько секунд.

Результаты измерений регистрируются на жестких картах памяти и обрабатываются на персональных компьютерах с помощью специального программного обеспечения.

1.3 Комплексные системы для съемки железных дорог

Для обеспечения в области съемки железных дорог были разработаны специальные комплексные системы. Данные технологии являются совместными разработками швейцарских фирм «Leica Geosystems» и «Amberg Meastechnik». В них заложено использование высокотехнологичного измерительного оборудования и мощного пакета программного обеспечения.

Система «LEICA TMS» (рисунок 6.8) используется для геодезического обеспечения и контроля процессов эксплуатации железнодорожного пути. Система состоит из двух главных компонентов: электронных тахеометров «LEICA TPS1100plus» (или лазерных сканеров «LEICA HDS4500»), программного обеспечения «LEICA TMS Office», «LEICA TMS SETOUT», «LEICA TMS PROFILE».



Рисунок 6.8 – Система «LEICA TMS»

Автоматическое измерение профилей и определение геометрии пути осуществляется на базе технологии измерения, представленной на рисунке 6.9. Использование радиомодема и функции автоматического наведения на цели позволяет дистанционно управлять работой прибора из любой точки. Загрузка проектных данных и запись измерений может выполняться с помощью полевого компьютера или карты памяти «PCMCIA».

«LEICA GPR5000» – измерительная система для съемки железнодорожного полотна и туннелей с помощью высокоскоростного сканера «LEICA HDS4500», установленного на измерительной тележке с прецизионными датчиками. Скорость сканирования составляет 625 000 точек в секунду и обеспечивает детальную съемку железнодорожного полотна в радиусе 53 м в кинематическом режиме. Датчики автоматически регистрируют превышение и ширину рельсов.

Программный модуль «LEICA TMS OFFICE» обеспечивает хранение всех проектных и измерительных данных, а также их обработку по методике, единой для всей области применения данной системы измерения.

Программный модуль «LEICA TMS PROFILE» предназначен для автоматического измерения профилей.

Программный модуль «LEICA TMS SETOUT» используется для выноса проектных данных.

Преимущества использования таких систем очевидны:

- повышение безопасности путем обеспечения высокой точности местоположения и геометрии рельсов, а также своевременного обнаружения возможных источников аварийных ситуаций;
- повышение скорости и увеличение частоты прохождения поездов;
- уменьшение затрат по реконструкции;
- уменьшение времени простоя и остановки железнодорожного движения;
- многофункциональность применения системы.

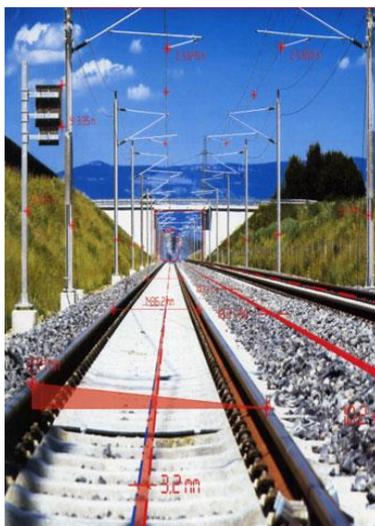


Рисунок 6.9 – Определение геометрии пути

1.4 Геоинформационная система

Геоинформационная система (ГИС) – автоматизированная информационная система, предназначенная для обработки пространственно-временных данных, основой интеграции которых служит геоинформация.

ГИС можно представить в виде трехуровневой структуры, включающей системный уровень:

- сбора и первичной обработки информации;
- моделирования, хранения и обновления информации;
- представления информации.

В технологиях ГИС используются три типа экспертных систем (ЭС):

– на уровне сбора информации – система автоматизированного распознавания образов при обработке фотоснимков или сканировании картографических изображений;

– на уровне моделирования – ЭС автоматизированного редактирования картографических данных. Для управления и принятия решений применяются ЭС анализа атрибутивных данных, данных о запросах пользователей и др.;

– на уровне представления данных – ЭС генерализации картографических изображений.

В качестве базовых моделей данных в ГИС, как и в других автоматизированных системах, применяют инфологические (объектные), иерархические, реляционные и сетевые модели. Особенностью ГИС является наличие большого объема пространственно-временной и графической информации. Местоположение объектов ГИС определяется классом координатных (позиционных) данных. Для определения параметров времени и организации описательной информации используется класс атрибутивных данных.

Источниками данных в ГИС являются:

- существующие топографо-геодезические и картографические материалы;
- материалы дистанционного зондирования;
- данные наземных измерений;
- атрибутивные данные из предметной области.

Класс координатных данных отражает метрическую информацию ГИС, представленную совокупностью геометрических элементов: точек, линий, контуров и площадей. Основной формой представления координатных данных являются цифровые модели. Для визуализации координатных данных используются графические модели. Основу графической среды и визуализации данных в ГИС составляют векторные и растровые модели. Особенностью организации графических данных в ГИС является поддержка оверлейных структур. Их отличие от систем САД состоит в том, что слои в ГИС могут быть как векторными, так и растровыми. Векторные слои в ГИС являются объектными, т. е. они несут информацию об объекте, а не об отдельных элементах объекта, как в САПР. Векторные модели могут быть топологическими (если они поддерживают топологию графики) или нетопологическими.

Класс атрибутивных данных представляет собой совокупность временных и описательных данных объектов ГИС. Атрибутивные данные чаще всего представляют в табличной форме.

Качество данных в ГИС определяется следующими характеристиками:

- позиционной точностью;
- точностью атрибутов;
- логической непротиворечивостью;

- полнотой;
- происхождением.

ГИС могут одновременно поддерживать как растровую, так и векторную формы представления графики. Такие ГИС называют *гибридными*.

Современные ГИС позволяют выполнять пространственное моделирование объектов и явлений. При моделировании в ГИС выделяют следующие виды операций с данными:

- преобразование форматов и представлений данных;
- проекционные преобразования;
- геометрический анализ данных;
- оверлейные операции;
- функционально-моделирующие операции.

Операции *преобразования форматов и представлений* присутствуют в каждой ГИС и необходимы как средства обмена данными с другими автоматизированными системами.

Тип формата определяется используемым программным обеспечением и технологиями сбора данных. Преобразование форматов осуществляется с помощью программ-конверторов.

Графические данные могут иметь растровое или векторное представление, которые существенно различаются: векторное представление имеет большие аналитические возможности, чем растровое. Операция преобразования растрового изображения в векторное (векторизация) является одной из основных при обработке графических данных в ГИС. В состав любой ГИС входит специальная программа векторизации – графический редактор. Существуют и специальные программы-векторизаторы.

Для определения положения объектов в пространстве существует множество систем координат. Для изображения поверхности земли на плоскости применяют различные математические модели – картографические проекции.

Группа математических процедур ГИС, осуществляющих переход от одной системы координат к другой, от пространственной системы координат к картографической проекции или переход от одной картографической проекции к другой, носит название *проекционных преобразований*.

Особенностью цифровых карт в ГИС является возможность их организации в виде множества слоев (покрытий или карт-подложек). Сущность *оверлейных операций* состоит в наложении разноименных слоев с образованием производных объектов и наследованием атрибутов.

Программные средства ГИС позволяют выполнять ряд *операций геометрического анализа*. Для векторных моделей такими операциями являются определение расстояний, длин кривых, площадей фигур, трансформирование точек объекта и др.

В ГИС используются различные аналитические операции. Это расчет и построение буферных зон, анализ сетей, генерализация, цифровое моделирование и др.

Развитие автоматизированных методов обработки пространственной информации привело к появлению нового направления в моделировании – цифрового моделирования. Основными элементами цифрового моделирования являются ЦМР, ЦММ, цифровая модель объекта (ЦМО). Цифровые модели широко используются в ГИС, САПР и АСУ.

Работа с информацией в ГИС осуществляется комплексом программ под управлением той или иной операционной системы. Обычно ГИС состоит из двух основных частей – графического редактора и системы управления базами данных (СУБД).

В любой ГИС осуществляются:

- ввод и вывод информации;
- управление графическими и тематическими базами данных, обеспечивающее связь между этими базами для правильной и синхронной работы с объектами. Под управлением понимается создание баз определенной структуры и заполнение их, поиск информации в базах, сортировка, редактирование и пополнение информации, выдача информации по запросам и ряд других операций;

- визуализация информации, т. е. наглядное представление (отображение) на экране монитора информации, хранящейся в цифровой форме в графических и тематических базах; при этом информация может быть выдана на экран как в виде картографического изображения, так и в виде таблиц, графиков, диаграмм и т. п., отображающих результаты выполненного анализа информации;

- работа с картографическим изображением: перемещение его в произвольном направлении; масштабирование; настройка элементов оформления изображения (цвет, тип линий и т. п.); управление окнами на экране; редактирование изображения и т. д.;

- совместный анализ графической и тематической информации, позволяющий выявлять связи и закономерности между объектами и явлениями, динамику развития тех или иных процессов.

Созданием ГИС занимаются многие зарубежные и отечественные фирмы, и к настоящему времени разработано большое количество различных ГИС. В литературе принято деление этих систем на два класса (или два уровня).

К ГИС *первого* уровня относят наиболее мощные системы, ориентированные на использование рабочих станций, работу в сетях и с огромными объемами информации, поддерживающие много форматов обмена данными, имеющие большой набор функций для анализа пространственных и всевозможных иных данных и большое количество приложений для использования ГИС в различных областях деятельности.

ГИС *второго* уровня предназначены для работы на персональных компьютерах. Они поддерживают небольшое число обменных форматов, имеют ограниченный набор функций анализа данных и ограничения на объемы обрабатываемой информации.

Из ГИС первого уровня наибольшее распространение имеют ГИС «MGE» фирмы «INTERGRAPH» и ГИС «ARC/INFO» фирмы «ESRI». Названные фирмы выпускают варианты своих ГИС, ориентированные на использование как на мощных, так и на менее мощных компьютерах.

Из характерных представителей ГИС второго уровня можно назвать такие, как «MapInfo» фирмы «Mapinfo Corporation» (США), «Панорама» и «Нева» (Россия), «КРЕДО-ДиАЛОГ» (Беларусь) и др.

При описании того или иного программного продукта принято различать две его стороны:

- техническое обеспечение, т. е. комплекс применяемых аппаратных средств («*Hardware*», что в буквальном переводе означает «твердые изделия»);
- программное обеспечение («*Software*» буквально – «мягкие изделия»).

Техническое обеспечение различных по своим возможностям ГИС имеет определенные отличия. Ниже перечислены аппаратные средства, составляющие некоторый типовой комплекс:

- персональный компьютер или рабочая станция (более мощный компьютер);
- внешние запоминающие устройства-накопители на гибких, жестких и оптических дисках; последние имеют самое широкое применение, поскольку велики объемы хранимой в ГИС информации;
- устройства ввода информации (сканер и дигитайзер);
- устройства вывода информации (принтер и плоттер);
- средства телекоммуникаций для работы в сети.

Графическая информация, хранящаяся в графических базах данных, структурирована по объектам. Большинство ГИС оперируют с объектами следующих типов:

- точки (точечные объекты);
- линии и полилинии;
- области (регионы, полигоны);
- текст (текстовые объекты).

Тематическая информация в ГИС хранится в базах данных. *База данных* – это поименованная совокупность данных, имеющих определенную структуру и находящихся под управлением специального комплекса программ СУБД. Для эффективного манипулирования данными в базах должны быть проработаны вопросы их структуры, алгоритмов обработки (ввод, размещение, обновление, удаление, поиск, выдача) и языков общения с базами данных. Для решения перечисленных вопросов были предложены разные варианты,

что и привело к созданию различных баз данных и управляющих ими СУБД.

Результатом выполненной в ГИС обработки информации могут быть:

- картографические изображения (при этом возможно наглядное выделение (цветом, толщиной линий, штриховкой и т. п.) тех объектов или явлений, для характеристики которых производился расчет и анализ);

- графики и диаграммы (используются чаще всего при статистической обработке данных);

- таблицы.

Перечисленные результаты работы могут быть представлены разными способами:

- выведены на экран монитора;

- записаны в виде файлов на внешние запоминающие устройства (жесткие, гибкие и оптические диски, магнитные ленты – стримеры и т. п.) для хранения в данной ГИС;

- преобразованы в форматы данных, используемые другими ГИС: распечатаны на принтере или выведены на плоттер (графопостроитель) для получения так называемой твердой копии;

- выведены на фотопленку (на негативную – для дальнейшей печати фотографий, или позитивную – для изготовления слайдов).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Курс инженерной геодезии : учеб.-метод. пособие : в 2 ч. / Е. К. Атрошко [и др.]. – Гомель : БелГУТ, 2010. – Ч. I. – 144 с.

2 Курс инженерной геодезии : учеб.-метод. пособие : в 2 ч. / Е. К. Атрошко [и др.]. – Гомель : БелГУТ, 2011. – Ч. II. – 186 с.

3 Инженерная геодезия : учеб.-метод. пособие / Е. К. Атрошко [и др.]. – Гомель : БелГУТ, 2012. – 310 с.

4 Электронные геодезические приборы и работа с ними : учеб.-метод. пособие для вузов / Е. К. Атрошко [и др.]. – Гомель : БелГУТ, 2008. – 36 с.

5 Инженерная геодезия : пособие по выполнению расч.-граф. и лаб. работ / Е. К. Атрошко [и др.]. – Гомель : БелГУТ, 2005. – 106 с.

6 **Власов, Д. И.** Таблицы для разбивки кривых на железных дорогах / Д. И. Власов, В. Н. Логинов. – М. : Транспорт, 1968. – 519 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
<i>Лабораторная работа № 1.</i> Изучение устройства и методики измерения расстояний светодальномером СТ-5	4
<i>Лабораторная работа № 2.</i> Методика измерений лазерными рулетками	10
<i>Лабораторная работа № 3.</i> Изучение устройства и работа с электронным тахеометром «Sokkia SET 630R»	15
<i>Лабораторная работа № 4.</i> Изучение устройства и работа с электронным тахеометром «Leica TS06».....	25
<i>Лабораторная работа № 5.</i> Изучение устройства и методики измерений цифровым нивелиром «Trimble DINI 22».....	29
<i>Лабораторная работа № 6.</i> Современные способы геодезических измерений и обработки информации	38
Список литературы.....	52

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»**

**Кафедра проектирования, строительства
и эксплуатации транспортных объектов**

Е. К. АТРОШКО, И. П. ДРАЛОВА, В. Б. МАРЕНДИЧ

**ЭЛЕКТРОННЫЕ, ЛАЗЕРНЫЕ
И СПУТНИКОВЫЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ
ПРИБОРЫ И РАБОТА С НИМИ**

Лабораторный практикум

Гомель 2019

Учебное издание

АТРОШКО Евгений Кузьмич
ДРАЛОВА Ирина Петровна
МАРЕНДИЧ Валентин Борисович

ЭЛЕКТРОННЫЕ, ЛАЗЕРНЫЕ И СПУТНИКОВЫЕ
ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ И РАБОТА С НИМИ

Лабораторный практикум

Редактор Л. С. Р е п и к о в а
Технический редактор В. Н. К у ч е р о в а

Подписано в печать 10.04.2019 г. Формат 60x84 $\frac{1}{16}$.
Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 3,26. Уч.-изд. л. 3,24. Тираж 100 экз.
Зак. № . Изд. № 20.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Белорусский государственный университет транспорта.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий

№ 1/361 от 13.06.2014.

№ 2/104 от 01.04.2014.

№ 3/1583 от 14.11.2017

Ул. Кирова, 34, 246653, Гомель