



## **Лекция 11: АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ**

### **Вопросы:**

**11.1. Электронные приборы для измерения расстояний и углов»**

**11.1.1. Принцип и методы измерения расстояний.**

**11.1.2. Сущность фазового метода.**

**11.1.3. Импульсно-фазовый метод.**

**11.1.4. Способы разрешения неоднозначности.**

**11.1.5. Точность измерения расстояний электронными дальномерами.**

**11.1.6. Общие сведения о светодальномерах.**

**11.1.7. Безотражательная технология измерения расстояний. Лазерные рулетки.**

**11.1.8. Электронные теодолиты.**

**11.1.9. Электронные тахеометры их классификация и основные характеристики.**

**11.1.10. Электронный тахеометр Trimble 3305.**

**11.2. Топографическая съемка застроенных территорий**

**11.2.1. Особенности крупномасштабных съемок застроенных территорий.**

**11.2.2. Создание съемочного обоснования.**

**11.2.3. Съемка проездов.**

**11.2.4. Внутриквартальная съемка.**

**11.2.5. Съемка подземных коммуникаций**

**11.2.6. Трассоискатели и георадары**

**11.3. Современные автоматизированные технологии топографической съемки**

**11.3. 1. Электронная тахеометрическая съемка.**

**11.3. 2. Электронно-блочная тахеометрия.**

**11.3. 3. Совместное использование GPS и электронных тахеометров при тахеометрической съемке.**

**11.3.4. Наземные лазерное сканирование**

**11.3.5. Форматы файлов электронных тахеометров**

**11.3.6. Задачи полевого кодирования.**

**11.3.7. Элементы кодовой строки.**

**11.3.8. Стандартный формат полевого кодирования.**

**11.3.9. Компактный формат полевого кодирования.**

**11.3.10. Системы обработки геодезической информации.**

**11.3.11. Программный комплекс Кредо.**

**11.3.12. Технология построения топографических планов в Credo**

### **Литература**

1. Помелов, С.И. Геодезия: учебно-методический комплекс./ С.И.Помелов, Д.А.Чиж. – Горки: БГСХА, 2006. – 254 с.
2. Юнусов, А.Г. Геодезия: учебное пособие для вузов. / А.Г. Юнусов. А.Б. Беликов, В.Н. Баранов, Ю.Ю. Каширкин. – М.: Академический проект. 2011. 409 с.

## Вопрос 11.1. Электронные приборы для измерения расстояний и углов

### Вопрос 11.1.1. Принцип и методы измерения расстояний

Физический принцип действия электронных (электромагнитных) дальномеров основан на определении времени прохождения измеряемого расстояния электромагнитными волнами .

Приоритет в разработке теории светодальномеров принадлежит советским ученым. Первый светодальномер был сконструирован в 1936 г. под руководством академика А.А.Лебедева в Государственном оптическом институте. Широкое практическое применение электронные дальномеры находят около 45 лет. Особенно большой прогресс достигнут в связи с освоением лазеров, светодиодов, новых типов транзисторов и интегральных микросхем. В настоящее время геодезические линейные измерения выполняют в основном, электронными дальномерами.

Идея определения расстояний электромагнитными дальномерами довольно проста. Для измерения расстояния между точками  $A$  и  $B$  (рис.11.1) в одной из них устанавливают приемопередатчик, а в другой – отражатель (ретранслятор).

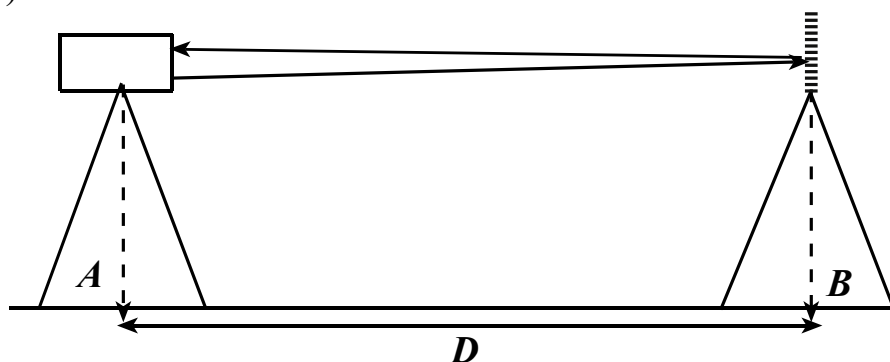


Рис. 11.1.

Электромагнитные волны, посланные из точки  $A$ , отражаются в точке  $B$  и возвращаются обратно. Если определить время прохождения волн вперед и обратно, то искомое расстояние можно вычислить по формуле

$$D = \frac{v\tau}{2}, \quad (11.1)$$

где  $v$  – скорость распространения волн;

$\tau$  – время;

$D$  – искомое расстояние.

В настоящее время скорость распространения электромагнитных волн в вакууме известна с высокой точностью и принята равной:  $c = 299792458$  м/с  $\pm 1,2$  м/с.

Действительную скорость распространения электромагнитных волн при измерении расстояний определяют по формуле

$$v = \frac{c}{n}, \quad (11.2)$$

где  $n$  – показатель преломления воздуха, зависящий от температуры, давления и влажности ( $n \approx 1,000296$ ).

Как видно из формулы (11.1), задача сводится к определению времени  $t$ . В зависимости от способов ее решения различают следующие методы измерения расстояний.

*Временной (импульсный) метод.* Это метод прямого измерения времени распространения электромагнитных волн. Импульсный дальномер содержит измеритель временных интервалов, запускаемый опорным импульсом от передатчика и, останавливаемый импульсом, пришедшим с дистанции. Импульсный метод характеризуется сравнительно большой абсолютной погрешностью. Поэтому его целесообразно использовать для измерения больших расстояний, когда относительная ошибка измерения получается малой.

*Частотный метод* основан на использовании частотно-модулированных колебаний и сводится к измерению приращения частоты за время распространения этих колебаний до объекта и обратно. Точность таких приборов порядка 1:1000. Применяется он, в основном, в самолетных радиовысотомерах и радиолокационных системах.

*Интерференционный метод* основан на непосредственном наблюдении результата интерференции двух (или более) когерентных световых волн, прошедших различные расстояния. Применяется для измерения небольших расстояний с высокой точностью. Например, с использованием некоторых интерферометров можно измерять расстояние до 60 м с точностью до 0,5 мкм/м.

*Фазовый метод.* Этот метод измерения расстояний наиболее распространен в геодезии. Применяется для измерения расстояний от нескольких метров до десятков (а в радиодиапазоне – до сотен) км.

### Вопрос 11.1.2. Фазовый метод

В большинстве устройств для измерения расстояний используются модулированные электромагнитные колебания. Модуляция – это изменение какого-либо параметра (амплитуды, частоты или фазы) по какому-либо закону. В качестве модулятора в настоящее время широко применяют полупроводниковые лазеры на основе кристалла арсенида галлия с длиной волны излучения 0,9 мкм.

Амплитудная модуляция показана на рис. 11.2.



Рис.11.2.

До прохождения модулятора электромагнитные волны имеют частоту собственных колебаний, которая называется несущей. Этой частоте соответствует определенная длина волны  $\lambda'$ . После прохождения модулятора длина несущей волны сохраняется, но амплитуда колебаний будет изменяться с заданной частотой. Частота модулирования колебаний называется измерительной. Ей соответствует измерительная длина волны  $\lambda$ , которая и выполняет роль «мерной ленты». Для светодальномеров  $\lambda'$  составляет 0,6–0,9 мкм, а  $\lambda$  10 и более метров. В дальнейшем будет идти речь об измерительных частотах и длинах волн.

Пусть передатчик излучает электромагнитные колебания с частотой  $f$ , которой соответствует длина волны

$$\lambda = \frac{v}{f}. \quad (11.3)$$

Эти колебания направляются на отражатель, а также минуя дистанцию в приемную часть. Приемник усиливает их и направляет на индикатор сдвига фаз.

Пусть для какого-то момента времени  $t$  колебания, пришедшие с дистанции, имеют фазу

$$\varphi_{om} = 2\pi ft.$$

где  $2\pi f$  – круговая частота.

Колебания, поступающие в приемник, минуя дистанцию, для этого же момента будут иметь фазу

$$\varphi_{np} = 2\pi f(t + \tau).$$

Разность фаз составит

$$\varphi_{np} - \varphi_{om} = 2\pi f\tau.$$

Отсюда

$$\tau = \frac{\varphi_{np} - \varphi_{om}}{2\pi} \frac{1}{f} = (N + \Delta N) \frac{1}{f}.$$

где  $N$  – целое число волн, уложившихся в расстоянии  $2D$ ;

$\Delta N$  – домер фазового цикла или некоторая для периода, измеряемая фазометром.

Подставляя значение  $\tau$  в (11.1) и учитывая (11.3), получим

$$D = \frac{\lambda}{2}(N + \Delta N). \quad (11.4)$$

В этой формуле величину  $\lambda$  можно вычислить по известной частоте,  $\Delta N$  – измерить фазометром,  $N$  – остается неизвестным.

Определение целого числа периодов  $N$  называют разрешением неоднозначности.

### Вопрос 11.1.3. Импульсно-фазовый метод

Импульсно-фазовый гетеродинный метод является дальнейшим развитием фазовых измерений. В отличие от рассматриваемого ранее фазового метода с непрерывным режимом излучения в нем реализован импульсный режим работы источника излучения, что позволяет экономить энергию и повышать дальность действия прибора.

Частота следования оптических импульсов задается внешним генератором и является масштабной частотой. Период следования импульсов  $T_m$  связан с масштабной частотой  $f_m$  соотношением

$$T_m = \frac{1}{f_m}. \quad (11.5)$$

После прохождения расстояния  $2D$  эти импульсы отстают во времени относительно опорных на величину

$$\tau = \frac{2D}{V}.$$

Величина  $\tau$  во много раз превышает  $T_m$ , поэтому, как и при фазовых измерениях, возникает неоднозначность определения  $\tau$ , т.е.

$$\tau = NT_m + \Delta\tau_m, \quad (11.6)$$

где  $N$  – число полных периодов повторения  $T_m$ , содержащихся в величине  $\tau$ , которое определяется дополнительно;

$\Delta\tau_m$  – запаздывание относительно ближайшего опорного импульса.

Для измерения величины  $\Delta\tau_m$  с необходимой точностью предусмотрено гетеродирование, т.е. понижение частоты следования импульсов. Частота повторения  $F$  импульсных сигналов на выходах схем совпадения в 10000 раз меньше  $f_m$ . Электронным цифровым фазометром прибора измеряют запаздывание опорного сигнала  $\Delta\tau_\Omega$ , которое связано с  $\Delta\tau_m$  соотношением

$$\Delta\tau_m = \frac{F}{f_m} \Delta\tau_\Omega. \quad (11.7)$$

Подставляя в формулу (11.1) выражения (11.6) и (11.7) получим формулу измерения расстояния  $D$  импульсно-фазовым методом

$$D = \left( NT_m + \frac{F}{f_m} \Delta \tau_\Omega \right) \frac{V}{2}. \quad (11.8)$$

Формулу (11.8) можно записать короче

$$D = (N + F \Delta \tau_\Omega) \frac{\lambda_m}{2}, \quad (11.9)$$

где  $F \Delta \tau_\Omega = \frac{\Delta \varphi}{2\pi}$  – часть периода.

#### Вопрос 11.1.4. Способы разрешения неоднозначности

Для разрешения неоднозначности применяют два способа. Первый основан на плавном изменении частоты, а второй – на применении нескольких фиксированных частот.

Первый способ заключается в следующем. При измерении линии с помощью специального устройства изменяют частоту колебаний  $f$ , а следовательно и длину волны  $\lambda$ , до тех пор пока дробная часть  $\Delta N$  будет равна нулю. Тогда в расстоянии  $2D$  уложится целое число волн.

Пусть при частоте  $f_i$  длина волны  $\lambda_i$  уложилась в двойном расстоянии  $N_i$  раз. Тогда

$$2D = N_i \lambda_i. \quad (11.10)$$

Для однозначного определения расстояния необходимо уменьшить длину волны (увеличить частоту) с таким расчетом, чтобы в расстоянии  $2D$  уложилось на  $n$  волн больше. Тогда получим второе уравнение

$$2D = (N_i + n) \lambda_k, \quad (11.11)$$

где  $\lambda_k$  – длина волны, соответствующая новой частоте  $f_k$ .

Решая совместно (11.10) и (11.11) получим:

$$N_i \lambda_i = N_i \lambda_k + n \lambda_k,$$

$$N_i = \frac{\lambda_k}{\lambda_i - \lambda_k} n. \quad (11.12)$$

Величину  $N_i$  можно вычислить и по измеренным частотам по формуле

$$N_i = \frac{f_i}{f_k - f_i} n. \quad (11.13)$$

Число разностей уложения волн  $n$  при плавном изменении частоты от  $f_i$  до  $f_k$  в первых моделях светодальномеров определялось визуально путем подсчета числа минимумов света при наблюдении в окуляр приемной трубы, в современных приборах – регистрируется автоматически. Частота  $f$  измеряется волномером.

Число  $N$  вследствие погрешностей определения частот несколько отличается от целого. Его округляют до целого, после чего находят расстояние по формуле (11.10).

Второй способ размещения неоднозначности основан на применении нескольких фиксированных частот модуляции. В настоящее время его применяют в большинстве светодальномеров и во всех радиодальномерах.

Применяют два варианта построения сетки фиксированных частот:

- 1) набирают ряд частот  $f_1 \succ f_2 \succ \dots \succ f_m$ , где каждая последующая уменьшается в целое число раз;
- 2) набирают близкие частоты с расчетом, чтобы последовательно уменьшались в целое число раз разности первой и остальных частот

$$f_1 \succ (f_1 - f_m) \succ (f_1 - f_{m-1}) \succ \dots \succ (f_1 - f_2).$$

Рассмотрим сущность способа на примере электронного тахеометра 2Та5, где применяется три фиксированные частоты  $f_1=14985,5$  кГц,  $f_2=14236,2$  кГц,  $f_3=14910,6$  кГц.

На частоте  $f_1$  ( $\lambda_1 = 20$  м) однозначно определяется расстояние в пределах 10 м; на частоте  $f_1 - f_2$  ( $\lambda_{1-2} = 400$  м) однозначно определяют расстояния в пределах 200 м и на разностной частоте  $f_1 - f_3$  ( $\lambda_{1-3} = 4000$  м) – в пределах 2000 м.

### **Вопрос 11.1.5. Точность измерения расстояний электронными дальномерами**

При измерении расстояний дальномерами фазового типа формулу (11.4) можно записать в следующем виде

$$D = \frac{c}{2fn} \left( N + \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \right) + k, \quad (11.14)$$

где  $\Delta\varphi$  – разность фаз в пределах одного периода;

$k$  – постоянная поправка.

Точность определения расстояния  $D$  зависит от точности определения величин, стоящих в правой части равенства.

Скорость распространения электронных волн в вакууме известна с высокой точностью (относительная ошибка  $4 \times 10^{-9}$ ), частота  $f$  в настоящее время определяется тоже с высокой точностью (можно эталонировать частоты с ошибкой до 1 гц). Разность фаз  $\Delta\varphi$  и постоянная поправка  $k$  тоже определяются

точно. Основная проблема заключается в определении показателя преломления воздуха. Приблизительно  $n=1,000298$ . Величина  $N=(n-1)10^6$  называется индексом преломления ( $N=298$ ). Она зависит от длины волны, температуры, давления и влажности. Ошибка в температуре на  $1^\circ$  дает ошибку в длине линии  $D \times 10^{-6}$ , а ошибки в давлении на 1 мм ртутного столба –  $0,5D \times 10^{-6}$ . Практически температуру и давление измеряют на концах линии. Среднее интегральное значение их остается неизвестным. Это обстоятельство в основном и лимитирует точность определения расстояний электронными дальномерами.

Для ослабления ошибок, связанных с определением индекса преломления можно наблюдать в разное время, или расставлять датчики температуры, давления и влажности по измеряемой линии.

На практике точность измерений расстояний конкретным дальномером обычно характеризуют эмпирической линейной зависимостью вида

$$m_D = a + bD, \quad (11.15)$$

где  $m_D$  – средняя квадратическая ошибка расстояния;  
 $a$  и  $b$  – коэффициенты.

Значения коэффициентов  $a$  и  $b$  находят по методу наименьших квадратов из сопоставления длин линий с их ошибками, полученными при измерении эталонных базисов, или рассчитывают по результатам лабораторных определений отдельных ошибок.

Как видно из формулы (11.15), ошибка складывается из двух частей: первая не зависит от расстояния, а вторая – пропорциональна расстоянию. Например, в паспорте для светодальномера СТ5 приводится  $m_D = (10 + 5 \times 10^{-6}D)$  мм. Следовательно,  $a = 10$  мм,  $b = 5 \times 10^{-6}$ . Эту формулу можно представить еще в таком виде:  $m_D = 10$  мм + 5 мм/км.

### Вопрос 11.1.6. Общие сведения о светодальномерах

Светодальномеры подразделяются на три группы: Г (геодезические), Т (топографические), П (применяемые в прикладной геодезии). Эти буквы добавляются к букве С, обозначающей слово “светодальномер”, после чего указывают цифры, обозначающие дальность действия прибора. Например, СТ5 означает светодальномер топографический с дальностью действия 5 км.

Геодезические светодальномеры предназначены для измерения сторон в государственных геодезических сетях, триангуляции высших классов и др. Дальность их действия составляет 15–50 км, а средняя квадратическая ошибка порядка  $\pm(5 \div 10)$  мм +  $(1 \div 2)$  мм/км.

Топографические светодальномеры применяются при построении сетей сгущения, производстве топографических съемок и других работах. Это светодальномеры массового применения с дальностью действия до нескольких километров с ошибкой порядка 2 см. Они могут изготавливаться как автономные светодальномеры и как дальномерные насадки на теодолит.

К группе П относятся светодальномеры повышенной и наивысшей точности, которым можно измерять расстояния до  $0,5 \div 3$  км с ошибкой около 2 мм

и менее. Они применяются при решении различных задач прикладной геодезии, в маркшейдерских работах и др.

Для целей землеустройства и земельного кадастра наибольший интерес представляют топографические светодальномеры. Все современные приборы этой группы отличаются высоким уровнем автоматизации. Для управления, контроля и вычислений используют встроенный микропроцессор. Источником излучения служат полупроводниковый светодиод или лазерный диод на арсениде галлия (GaAs) с длиной волны порядка 0,9 мкм (инфракрасное излучение) и внутренней модуляцией. Расстояние выдается в цифровом виде на табло. Время измерения линии составляет от 0,7 до 10 с.

В настоящее время Уральским оптико-механическим заводом (г. Екатеринбург, Россия) выпускаются следующие модели топографических светодальномеров 2СТ10 (рис.11.3) и 4СТ3 (рис.11.4).

К примеру, светодальномер 2СТ10 предназначен для измерения длин линий в полигонометрии и в геодезических сетях сгущения со сторонами до 5 км. Управление процессом измерения обеспечивается встроенной микро-ЭВМ. Результаты измерения, с учетом поправок на атмосферное давление и температуру, выдаются на табло и могут быть введены в накопитель. Прерывание луча влияния на измерение не оказывает. В комплект входят: отражатели, источники питания, зарядное устройство, барометр, термометр, штативы, набор инструментов и принадлежностей.

Светодальномер 4СТ3 может применяться как самостоятельный прибор, а также может устанавливаться на оптические теодолиты для одновременного измерения углов и расстояний. Прибор имеет 4-х строчное жидкокристаллическое табло с подсветкой и пульт управления для ввода информации.



Рис. 11.3. Светодальномер 2СТ10.



Рис. 11.4. Светодальномер 4СТ3.

Светодальномер обеспечивает: ввод информации (дата, результат измерения, номер пикета, признаки пикета и т.д.) во встроенную память и вывод в IBM PC в интерфейсе RS 232; самодиагностику; автоматический (от встроенных датчиков) и ручной ввод давления, температуры; ручной ввод значений

вертикальных углов, предварительно измеренных теодолитом; ввод постоянной отражателя, выбор единиц измерения расстояния (м, мм), выбор единиц ввода углов (градусы, гоны); контроль напряжения питания (звуковая и световая индикация разряда); контроль уровня сигнала; индикацию потери сигнала; индикацию времени (часы, минуты); вычисление горизонтального проложения и превышения; вычисление среднего квадратического отклонения; измерение расстояния в условиях прерывания измерительного луча; возможность подключения внешнего источника питания. Технические характеристики вышеописанных светодальномеров приведены в табл. 11.1.

Таблица 11.1. Технические характеристики топографических светодальномеров СТ

Показатель	Светодальномер 2СТ10	Светодальномер 4СТ3
Диапазон измеряемых расстояний, м: - нижний предел; - верхний предел (при метеорологической дальности видимости более 20 км и отсутствии колебаний воздушного слоя); - верхний предел (при метеорологической дальности видимости более 40 км и отсутствии колебаний воздушного слоя) с дополнительным отражателем.	2  5000  10000	0,2  1000  3000
Средняя квадратическая погрешность измерения расстояний, мм	$<(5+3 \times 10^{-6}D)$	$\pm(3+3 \times 10^{-6}D)$
Увеличение визирной системы	18x	12x
Потребляемая мощность, Вт	>10	2
Диапазон рабочих температур, °С	$-30^0 \dots +40^0$	$-20^0 \dots +50^0$
Габаритные размеры светодальномера, мм	202×305×248	210×165×252
Масса в футляре, кг	8,5	3

### Вопрос 11.1.7. Безотражательная технология измерения расстояний дальномером. Электронные рулетки

В последнее время для проведения топографо-геодезических работ появились новые технические средства – это безотражательные дальномеры, позволяющие проводить измерения расстояний без использования призматических отражателей. Они применяются для съемки зданий, сооружений, измерений на неприступных площадях, мониторинга деформаций объектов, при разбивочных работах в строительстве, монтаже оборудования и др. Технология измерений без отражателей повышает производительность труда и безопасность работ.

В традиционных измерениях лазерным дальномером, призма используется для фокусировки и отражения лучей обратно к приемнику излучения на приборе (рис. 11.5). В безотражательном методе излучаемый тахеометром лазерный сигнал отражается от диффузной поверхности объекта во всех направлениях (рис. 11.6).

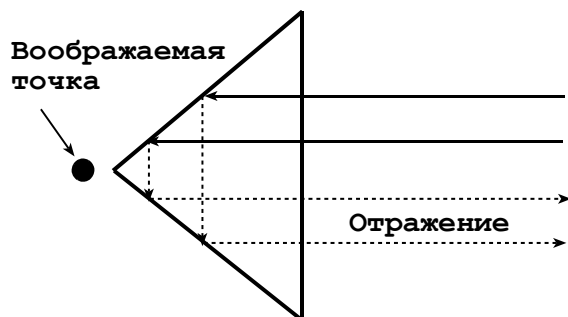


Рис. 11.5. Отражательная технология.

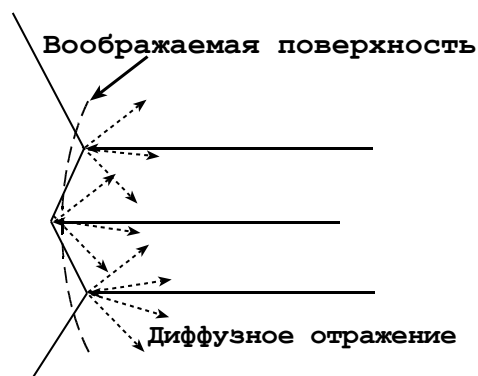


Рис. 11.6. Безотражательная технология.

Следовательно, величина вернувшегося сигнала в прибор становится значительно меньше, чем от призмного отражателя. Кроме того, нет точно определённой точки, до которой произведено измерение расстояния; измеряется расстояние, которое было усреднено в области попадания лазерного луча. Из-за особенностей диффузионного отражения, обычно энергия отражённого света, которая достигает прибора, очень мала, и нужно использовать излучатель высокой мощности.

Существует следующая классификация лазеров:

- класс I, II a, II, III a, III b, IV (FDA);
- класс 1, 2, 3A, 3B, 4 (IEC).

Лазер 1-го класса безопасен для применения, лазер 2-го класса применяется только для видимых лазеров. Защита глаз обычная, например, рефлекс моргания глаза. Лазер класса 3A опасен при прямом попадании в глаза, особенно через оптические инструменты. Очень опасным при использовании на открытой местности являются лазеры класса 3B и 4. К примеру, лазерный луч тахеометра Trimble 3305 в режиме DR относится ко 2-му классу (длина волны 660 нм).

На сегодняшний день существуют два типа электронных дальномеров на основе которых разрабатываются безотражательные дальномеры (DR): дальномер, основанный на принципе непосредственного измерения времени прохождения сигнала до цели и обратно – *импульсный дальномер*, и дальномер, работающий по методу определения сдвига фаз – *фазовый дальномер*.

Более подробную систематизированную информацию об безотражательной технологии измерения расстояний дальномерами можно найти в информационном обзоре [33].

Для быстрого и точного измерения коротких расстояний в настоящее время применяются электронные рулетки. Эти приборы с помощью видимого лазерного луча позволяют производить измерения без отражателя, что очень удобно для определения длины, ширины и высоты объектов внутри помещений, недоступных или опасных объектов.

Ручные безотражательные дальномеры Leica (Швейцария) LASER DISTO – компактный безотражательный дальномер позволяет измерять расстояния до 30 м. При измерении расстояния свыше 30 м применяется специальная отражающая пластина, входящая в состав дальномера. Прибор имеет встроенные устройства для вычисления площади и объема, а также сложения и вычитания расстояний. Он оснащен встроенным аккумулятором, зарядное

устройство которого работает как от бытовой сети, так и от бортовой сети автомобиля.

В настоящее время компания Leica Geosystems производит следующие модификации лазерных дальномеров пятого поколения: DISTO lite5, DISTO A5 (рис. 11.7), DISTO plus5, DISTO special5.

Средняя квадратическая ошибка измерения расстояний от 0,2 м до 200 м этими приборами составляет  $\pm 3-5$  мм. С помощью рулетки можно измерять расстояния, выполнять арифметические действия с результатами измерений, вычислять объемы, площади, определять высоту зданий, имеется возможность измерения с задержкой и непрерывных измерений (трекинг).



Рис. 11.7. Дальномер DISTO plus5.

Наиболее мощной из названных рулеток, является DISTO™ plus<sup>5</sup>, в которой заложены возможности передачи результатов измерений на персональный или карманный компьютер по беспроводной технологии Bluetooth®.

Bluetooth® это новая технология беспроводной передачи данных малой мощности, разрабатываемая с целью замены существующих проводных соединений персональных компьютеров. Bluetooth работают в радиусе 10 м и в отличие от IrDA (инфракрасный порт), не обязательно в зоне прямой видимости.

Технология использует небольшие приемопередатчики малого радиуса действия, либо непосредственно встроенные в устройство, либо подключаемые через свободный порт или PC-карту.

В комплект поставки включены две программы: PlusXL – позволяет накапливать массив информации в виде таблицы, DrawPlus – позволяет создавать 2D-план местности или графическую 2D-модель обмеряемого объекта.

### Вопрос 11.1.8. Электронные теодолиты

В настоящее время на смену оптическим теодолитам пришли электронные теодолиты, а также созданные на их основе электронные тахеометры. В этих приборах используется система отсчета с оптико-электронным сканированием, позволяющая автоматизировать процесс угловых измерений и повысить приборную точность

Электронные теодолиты позволяют накапливать результаты измерений в памяти прибора с последующей их передачей в ЭВМ. Это позволяет автоматизировать процессы измерений и обработки результатов.

В электронных теодолитах применяются два типа АЦП, отличающиеся методом получения информации об угле в виде электрических сигналов. Эти два метода получили название кодового и инкрементального; последний часто называют цифровым или дигитальным.

При кодовом методе лимб, с которого считывается угловая величина, представляет собой кодовый диск. На нем нанесена система кодовых дорожек, состоящих из отдельных элементов типа «да – нет» (например, прозрачных и непрозрачных участков), обеспечивающих возможность создания сигналов 1

и 0 в двоичной системе при считывании. Расположение этих элементов таково, что они в определенном коде зашифровывают угловую величину. Каждая дорожка обычно соответствует определенному разряду в значении измеряемой угловой величины. При кодовом методе каждому угловому направлению (положению кодового диска) однозначно соответствует определенный кодированный выходной сигнал. Для считывания информации кодовый диск просвечивается световым пучком, который затем поступает на фотоприемное устройство, позволяющее получить на выходе различные комбинации электрических сигналов при изменении углового положения кодового диска. Таким образом, каждая комбинация соответствует определенному значению углового направления; далее электрические сигналы поступают в логические схемы обработки, осуществляющие декодирование и воспроизведение измеряемой величины в цифровом виде на табло.

На рис. 11.8 приведена принципиальная схема его углового преобразователя и показан измерительный кодовый диск.

Инкрементальный метод основан на использовании штрихового раstra – системы радиальных штрихов, наносимых на внешнем крае лимба или алидады через одинаковые интервалы. Плотность реестра может достигать сотен штрихов на 1 мм, что обеспечивает высокую точность измерений. Штрихи и интервалы между ними образуют последовательность элементов «да – нет» которые в этом случае называют инкрементами. Угол поворота такого растрового круга оценивается по количеству инкрементов, прошедших через фиксированную точку. Считывание производится оптическим методом и количество прошедших инкрементов выражается числом импульсов света, поступающих на фотоприемник.

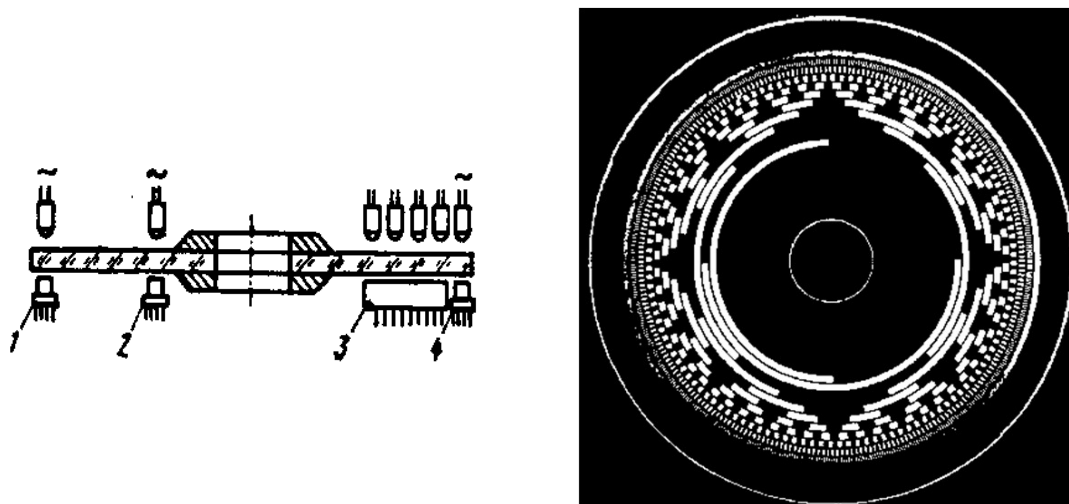


Рис. 11.8. Принципиальная схема углового преобразователя тахеометра и кодовый диск: 1,4- диаметрально расположенные считывающие системы точного отсчета (для устранения влияния эксцентриситета); 2 - считывающая система промежуточного (средней точности) отсчета; 3 - считывающая система грубого отсчета

При инкрементальном методе определяются изменения углового положения круга, т.е. измеряются углы. При кодовом методе измеряются направления, а углы вычисляются как разность направлений. Для повышения точности считывания углов в обоих методах применяют интерполяторы.

Микропроцессоры в электронных теодолитах осуществляют функции управления, контроля и вычислений. На табло может выдаваться горизонтальные и вертикальные углы или зенитные расстояния. В электронных имеются микро ЭВМ (микрокомпьютеры) и данные могут не только выдаваться на табло, но также регистрироваться в запоминающемся устройстве, выводится на внешний накопитель или сразу обрабатывается в соответствии с заложенными в память программами. Характеристики некоторых распространенных моделей теодолитов приведены в табл 11.2. а их внешний вид на рис 11.9.

Т а б л и ц а 11.2. Технические характеристики электронных теодолитов.

Модель электронного теодолита	FET 110	FOIF DT-202	PENTAX ETH-302	TEO Dis ERT 5
Телескоп	Прямое изображение	Прямое изображени	Прямое изображени	Прямое изображени
Длина	155 мм			
Незатененная диафрагма объектива	45 мм		45мм	
Увеличение	30 х	30 х	30х	30х
Разрешающая способность	2.5 "	1	3"	1
Минимальное расстояние фокусировки	1.3 м	1.0	1.35м	1,1
Дисплей	2			
Угловое измерение	360 °	360	360 °	360
Максимальное чтение (по выбору)	5 " / 10"	1	5"(1/5выбор)	1"(5выбор)
Точность (ДИН 18723)	10"	2	2"	1
Чувствительность уровня				
Плоский уровень	30 " на 2 мм		30 " / 2мм	30 " / 2мм
Круглый уровень	8 " на 2 мм		8 ' / 2мм	8 ' / 2мм
Оптический отвес			да	лазерный
Увеличение	3 х		3 х	
Диапазон фокусировки	От 0.5 м до ∞		От 0.5 м до ∞	От 0.5 м до ∞
Электропитание	4 х 1,5 Вольт AA батареи		4хAA батареи	4хAA батареи
Продолжительность работы	15 часов	8	22-28 часов	20 часов
Температурный диапазон	От - 20 ° до + 50 °	-20+50	От - 20 ° до + 50	От - 20 ° до + 50
Масса	4.8 кг	4.8	4,6 кг	5,2 кг

Необходимо отметить, что теодолит TEO Dis ERT 5 имеет встроенный безотражательный дальномер с точностью измерений 0,2мм для расстояний до 100 м.

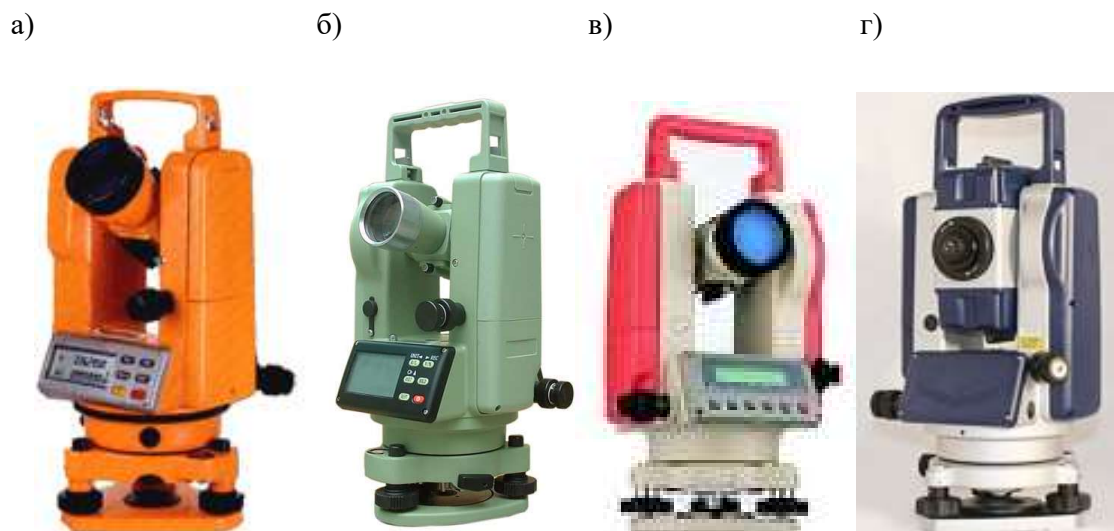


Рис 11.9. Электронные теодолиты. а– FET 110, б – FOIF DT-202, PENTAX ETH-302, г– TEO Dis ERT 5.

### Вопрос 11.1.10. Электронные тахеометры их классификация и основные характеристики

В настоящее время производство тахеометрических съемок осуществляется с использованием тахеометров – оптико-электронных приборов, совмещающих в себе функции теодолита, нивелира и дальномера с микропроцессорным управлением измерениями, хранением и обработкой их результатов. В них интегрированы последние достижения точного оптического приборостроения, механики, электронно-вычислительной техники, программирования. Эти приборы дают возможность в едином процессе развивать сети сгущения, производить плановую и высотную привязку аэрофотоснимков, создавать съемочное обоснование, выполнять топографические съемки, координировать границы земельных участков, выносить в натуру проекты границ при межхозяйственном и внутрихозяйственном землеустройстве, а также решать другие задачи.

Возможности электронных тахеометров не ограничиваются одним только производством топографических съемок. В зависимости от встроенного в прибор программного обеспечения можно решать задачи, возникающие при проведении дорожных работ (вынос поверхности дороги), выполнять архитектурные обмеры.

Крупнейшими мировыми компаниями, выпускающими около 100 моделей и модификаций электронных тахеометров, от самых простых до полностью роботизированных систем измерений, являются Topcon Positioning Systems (Япония), Nikon (Япония), Leica Geosystems (Швейцария), Sokkia (Япония), Trimble Navigation (США), Pentax (Япония). На территории бывшего СССР тахеометры производит Уральский оптико-механический завод (г.Екатеринбург, Россия).

Электронные тахеометры можно классифицировать: по функциональным возможностям; по целевому назначению; по наличию безотражательного режима и т.д. Основные подходы к классификации приборов приведены на рис. 11. 10



Рис 11.10

Если исходить из функциональных возможностей электронных тахеометров, то их можно разделить на несколько групп. К первой относятся приборы начального уровня, к примеру, Topcon GTS-230 (рис. 11.11), УОМЗ 3Та5 (рис. 11.12), Pentax R-300 (рис. 11.13), South NTS-352 и другие.



Рис. 11.11. Тахеометр электронный Topcon GTS-230.



Рис. 11.12. Тахеометр электронный УОМЗ 3Та5.



Рис. 11.13. Тахеометр электронный Pentax R-300.

Это самые простые по выполняемым функциям и точностным характеристикам электронные тахеометры. Запись данных производится во внутреннюю память или на внешний накопитель. Эта категория приборов способна производить самые простые функции измерений и вычислений (горизонтальное проложение, превышение, вынос в натуру по заданному углу и расстоянию). Угловая точность таких приборов находится в пределах 5"–10", линейная – около 5 мм. Дальность измерения расстояния не превышает 500 – 1000 метров по одной призме. В них отсутствует безотражательный режим работы.

Вторая группа – приборы среднего класса. Эти тахеометры получили наиболее широкое распространение благодаря универсальности их применения. Угловая точность у таких приборов находится в пределах от 1" до 5", дальность

измерения по одной призме составляет 1500–2500 метров. К инструментам этого типа относятся Leica TPS400 (рис.11.14), Trimble 3300 DR (рис.11.15), Nikon NPL-302 (рис. 11.16) и др.



Рис. 11.14. Тахеометр Leica TPS400.



Рис.11.15. Тахеометр Trimble 3305 DR.



Рис.11.16. Тахеометр Nikon NPL-302.

Эти приборы имеют встроенное программное обеспечение для выполнения практически всего спектра геодезических работ: развитие геодезических сетей, съемка и вынос в натуру (по углу и расстоянию, по координатам точки, разбивка линии, заданной двумя точками), решение геодезических задач (прямая и обратная геодезическая задача, расчет площадей, вычисление засечек). Некоторые из таких приборов позволяют производить расчет разбивочных элементов, например, круговых кривых. Запись данных осуществляется во внутреннюю память или на РСМСА карту, а наличие RS232C коммуникационного порта позволяет передавать измерения на компьютер и получать проектные данные для выноса в натуру. Буквенно-цифровая или цифровая клавиатура позволяет максимально упростить доступ ко всем функциям прибора и создать развитую систему кодировки объектов, увеличивая при этом скорость и качество работ.

Третья группа – это роботизированные или полуроботизированные приборы, к примеру, Topcon GTS-8205A (рис.11.17), Trimble 5600 (рис.11.18), Leica TDA5005 (рис.11.19).



Рис.11.17. Тахеометр Topcon GTS-8205A.



Рис.11.18. Тахеометр Trimble 5600DR.



Рис. 11.19. Тахеометр Leica TDA5005.

Внутри этого класса выделяют: тахеометры с сервомоторами; полуроботизированные тахеометры со следящей системой; роботизированные тахеометры, оснащенные дистанционным управлением.

Также следует отметить что в ряде современных приборов поддерживается фотофиксация снимаемых пикетов.

### Вопрос 11.1.10. Тахеометр Trimble 3305 DR

Тахеометры Trimble серии 3300 выпускаются в модификации 3305 с 5-секундной точностью измерения углов и 3303 с 3-секундной точностью (рис. 11.20).

Отличительные особенности:

- Trimble 3305 DR имеет программное обеспечение для топографии, выноса в натуру, приложения для решения задач координатной геометрии;
- дальномер может работать, как в стандартном режиме при измерении на призму, так и в безотражательном режиме;
- при включении безотражательного режима работы включается видимый лазерный указатель;
- безотражательный (DR) режим позволяет проводить измерения до недоступных объектов;
- модель Trimble 3305 DR в модификации X-treme имеет расширенный температурный диапазон работы и позволяет проводить съёмку при температуре от  $-35$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ ;

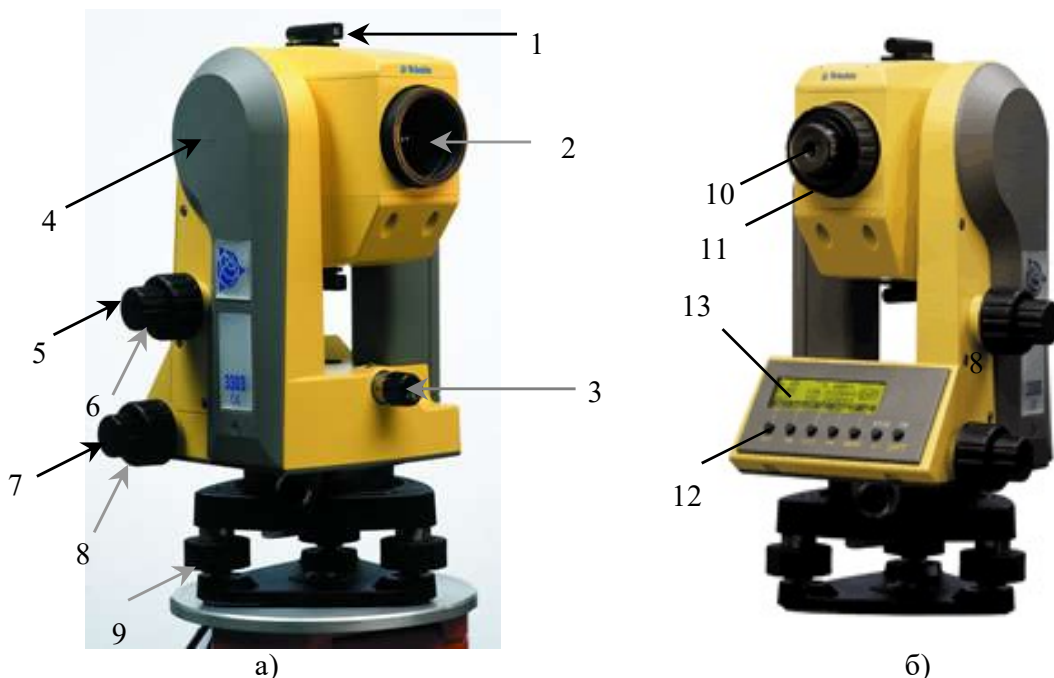


Рис. 11.20. Электронный тахеометр Trimble 3305 DR

1 – коллиматорный визир; 2 – объектив с блендой; 3 – оптический центр; 4 – метка для определения высоты инструмента; 5 – зажимной винт зрительной трубы; 6 – наводящий винт зрительной трубы; 7 – зажимной винт алидады; 8 – наводящий винт алидады; 9 – подъемный винт трегера; 10 – окуляр; 11 – фокусирующее кольцо зрительной трубы; 12 – клавиатура; 13 – дисплей (128x32 пиксел).

- Trimble 3305 DR автоматически записывает измерение до 1900 точек с сохранением их номеров и кода;

- одной зарядки аккумулятор хватает более чем на 1000 измерений или 8 часов непрерывной работы;

Передача данных осуществляется в различных форматах для дальнейшей обработки в специальном программном обеспечении, например CREDO, Trimble Geomatics Office, AutoDesk AutoCAD Land Development и др.

С использованием тахеометра можно определять недоступные расстояния; определять высоты недоступного объекта; определять координаты; решать обратную засечку; привязывать станцию по высоте; определять координаты полярным способом и др.

Для управления тахеометром используют клавиатуру с 7 клавишами (рис. 11.21).

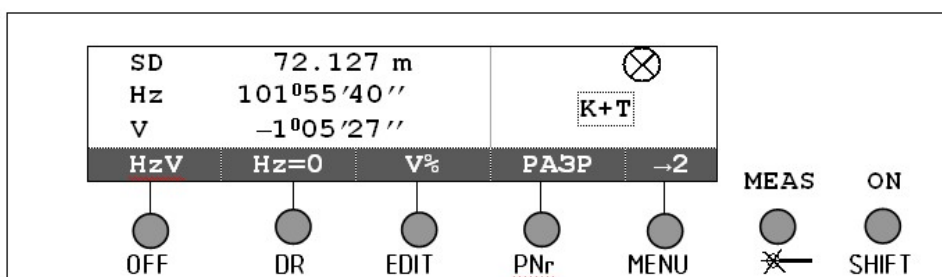



Рис. 11.21. Вид панели управления тахеометра Trimble 3305.

В Trimble 3305 DR используются 2 типа клавиш:

1. *Кнопочные клавиши на панели управления*

- **ON** – включение прибора и изменение функций кнопочной клавиши;
- **MEAS** – начало измерений;
- **SHIFT** + **OFF** – выключение прибора;
- **SHIFT** + **DR** – включение прибора и изменение функций кнопочной клавиши;
- **SHIFT** + **EDIT** – запрос о состоянии памяти, доступ к сохраненным данным;
- **SHIFT** + **PNr** – вызов ввода номера точки и кода точки;
- **SHIFT** + **MENU** – вызов главного меню;
- **SHIFT** +  – включение / выключение лазерного указателя.

2. *Программные клавиши.* Они определяются программой и расположены в нижней строке экрана.

При работе с тахеометром следует придерживаться следующих правил:

- 1) запрещается наводить лазерный указатель на отражатель;
- 2) нельзя производить измерения на призму в безотражательном режиме DR;
- 3) следует избегать прямого попадания лазерного луча в глаза;
- 4) в безотражательном режиме при измерениях не должно быть прерывания луча.

Основные показатели и характеристики электронного тахеометра Trimble 3305 DR приведены в табл. 11.3.

Т а б л и ц а 1 1 . 3 . Характеристики электронного тахеометра Trimble 3305 DR

Характеристика		Показатель
1		2
<b>Основные характеристики</b>		
Измерение углов	Электронное сканирование вертикального V и горизонтального Hz кругов. Различные единицы измерений и системы отсчета.	
Компенсация ошибки	Автоматическая компенсация коллимационной ошибки и ошибки места нуля.	
Управление данными	Интерфейсный порт RS 232 C (V 24) для ввода и вывода данных. Объем внутренней памяти - 1900 строк.	
<b>Технические характеристики</b>		
Допускаемое с.к.о. измерения углов	5"	
Системы измерения вертикальных углов	зенитное расстояние, вертикальный угол, угол наклона, уклон в процентах	
Увеличение зрительной трубы	26x	
Диаметр входного зрачка зрит, трубы	40 мм	
Поле зрения зрит, трубы на 100 м	2,9 м	
Наименьшее расстояние визирования	1,5 м	
<b>Измерение расстояний</b>		
Метод (безотражательный)	электронно-оптический с модулированием красного лазерного излучения; 660 нм / <1мВ	
Приёмопередатчик	соосный, в зрительной трубе	
Расходимость пучка	0,4 мрад / 1,5мрад	
<b>Время измерения расстояния</b>		
<b>Отражательный режим</b>		
стандартное / трэкинг (слежение)	2,0 с / 1,2	
<b>Безотражательный режим</b>		
стандартное	от 3,0 с до 30 м / 1 с до 10 м	
трэкинг (слежение)	1,6 с	
<b>Точность измерения расстояния</b>		
<b>Отражательный режим</b>		
Стандартный / слежение	2 мм + 2 ppm / 5 мм + 2 ppm	
<b>Отражающая пленка</b>		
Стандартный / слежение	3 мм + 2 ppm / 5 мм + 2 ppm	
<b>Безотражательный режим</b>		
Стандартный / слежение	3 мм + 2 ppm / 10 мм + 2 ppm	
<b>Измерение расстояний</b>		
<b>Отражательный</b>		
1 призма / 3 призмы	1,5 м – 3000 м / 1,5 м – 5000 м	
отражающая пленка 20x20 мм / 60x60	2,5 м – 100 м / 2,5 м – 250 м	
<b>Отражательный режим повышенной мощности</b>		
1 призма / 3 призмы	1000 м – 5000 м / 1000 м – 7500 м	
отражающая пленка 20x20 мм / 60x60	2.5 м – 200 м / 2.5 м – 800 м	
<b>Безотражательный режим</b>	70 м (Kodak, 18%)/100 м (Kodak, 90%)	
<b>Компенсатор</b>	одно-осевой	
<b>Оптический центрир, увеличение</b>	2x	
<b>Дисплей</b>	4 строки по 21 символу в каждой, графический режим (128x32 пиксела), подсветка, регулировка контраста	
<b>Запись</b>	встроенная память (~ на 1900 строк). Интерфейс RS232C /V24 для подключения к PC	
<b>Источник питания</b>	≈ на 1000 измерений углов и расстояний	
<b>Диапазон рабочих температур</b>	-20°C – +50°C	
<b>Вес с аккумуляторами и трегером</b>	3,5 кг	

Более подробно устройство и приемы работы с электронным тахеометром Trimble 3305 DR будут рассмотрены на практических занятиях.

## Вопрос .11.2. Топографическая съемка застроенных территорий

### Вопрос 11.2.1. Особенности крупномасштабных съемок застроенных территорий

Наиболее сложными геодезическими работами являются съемки застроенных территорий. Этот вид работ регламентируется инструкцией по топографической съемке, строительными нормами и правилами. Съемке и отображению на планах в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500 подлежат все элементы ситуации существующей застройки и благоустройства, подземных и наземных сетей и сооружений, выражающиеся в масштабе плана и предусмотренные для указанных масштабов действующими условными знаками.

Большое число предметов местности и элементов ситуации, зеленых насаждений, выходов подземных сетей, сложная конфигурация архитектурных деталей, требуемая высокая точность нанесения их на план для проектных работ заставляют выполнять съемочные работы с большой тщательностью и надежным контролем.

Высота сечения рельефа на топографических планах устанавливается в соответствии с данными табл.1

Таблица 11.4. Высоты сечения рельефа в зависимости от масштаба съемки и преобладающих углов наклона углов

Характеристика рельефа и максимально преобладающие углы наклона	Масштаб съемки		
	1:5000	1:2000	1:1000 - 1:500
	Высота сечения рельефа, м		
Равнинный с углами наклона до 2°	(0,5) 1,0	0,5 (1,0)	0,5
Всхолмленный с углами наклона до 4°	(1,0) 2,0	1,0	0,5
Пересеченный с углами наклона до 6°	2,0 (5,0)	(1,0) 2,0	0,5 1,0*
Горный и предгорный с углами наклона более 6°	5,0	2,0	1,0

Возможные (неосновные) высоты сечения рельефа, значения которых приведены в скобках, на топографических планах населенных пунктов допускаются в ограниченных случаях, оговариваемых техническим проектом. В исключительных случаях топографические съемки могут выполняться с высотой сечения через 0,25 м. Это сечение рельефа допускается при съемках в масштабе 1:500-1:1000 подготовленных и спланированных площадей с максимальными преобладающими углами менее 2°. Необходимость такого сечения обосновывается в техническом проекте.

Для изображения характерных деталей рельефа, не выражающихся горизонталями основного сечения, следует применять дополнительные горизонтали (полугоризонтали) и вспомогательные горизонтали. Полугоризонтали обязательно проводят на участках, где расстояния между основными горизонталями превышают 2,5 см на плане.

Рельеф застроенной части территории отображается на плане горизонталями и отметками, которые выписывают на план с округлением до 1 см.

На плане масштаба 1 :500 для территории с плотной застройкой горизонтали не проводят, рельеф характеризуется только отметками точек. Не проводят горизонтали и через карьеры, изрытые места, осыпи и по крутым обрывистым скалам, неимеющим естественного покрова. Эти места обводят контуром, по границе которого и внутри его дают отметки точек.

К съемкам застроенных территорий могут предъявляться и дополнительные требования.

В городах, в районах промышленных комплексов, все новые съемки выполняются, как правило, в ранее принятой системе координат и высот.

Для топографических планов, создаваемых на города и населенные пункты и на участки площадью менее 20 км<sup>2</sup>, как правило, а для масштабов 1:1000 и 1:500 всегда применяется прямоугольная разграфка с размерами рамок для масштаба 1:5000 - 40x40 см, для масштабов 1:2000, 1:1000 и 1:500 - 50x50 см.

### **Вопрос 11.2.2. Создание съемочного обоснования**

Плотность геодезических сетей определяется масштабом съемки, высотой сечения рельефа. Для выполнения топографических съемок на промышленных площадках, застроенных территориях плотность пунктов должна быть не менее чем до 4 пунктов триангуляции и полигонометрии на 1 км<sup>2</sup> в застроенной части.

Развитием съемочных геодезических сетей достигается плотность, обеспечивающая непосредственное выполнение съемки. Количество пунктов определяется рекогносцировкой. Съемочная сеть развивается от пунктов государственных геодезических сетей, геодезических сетей сгущения 1 и 2 разрядов и технического нивелирования.

Создание съемочного обоснования это дорогостоящее мероприятие. Поэтому на территории населенных пунктов и промышленных площадок все точки съемочных сетей рекомендуется закреплять знаками долговременного закрепления (рис. 11.22 ). Также в качестве пунктов постоянного съемочного обоснования могут выступать выступы капитальных зданий, центры колодцев выходов подземных сетей, стенные нивелирные реперы и д.р. Возможно закрепление точек металлическими костылями, трубками на бетоне, болтами и д.р.

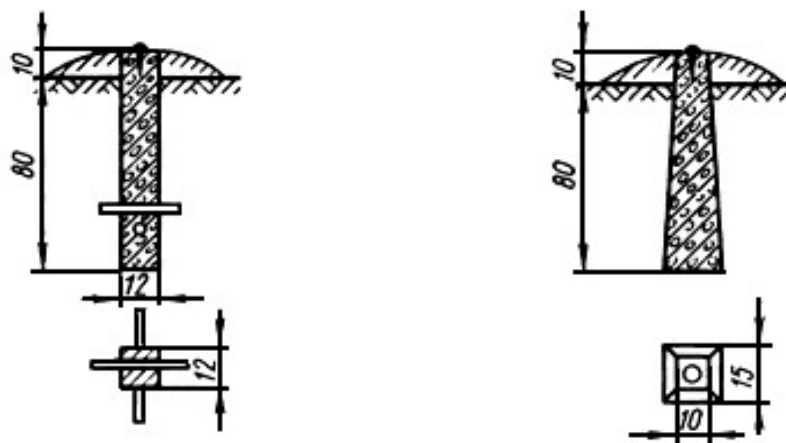


Рис 11.22. Знак долговременного закрепления

Теодолитные ходы прокладываются с предельными относительными погрешностями 1:3000, 1:2000, 1:1000 в соответствии с табл.11.5.

Т а б л и ц а 11.5. Требования к теодолитным ходам

Масштаб	$m_g = 0,2$ мм			$m_g = 0,3$ мм	
	$\frac{1}{N} = \frac{1}{3000}$	$\frac{1}{N} = \frac{1}{2000}$	$\frac{1}{N} = \frac{1}{1000}$	$\frac{1}{N} = \frac{1}{2000}$	$\frac{1}{N} = \frac{1}{1000}$
Допустимые длины ходов между исходными пунктами, км					
1:2000	3,0	2,0	1,0	3,6	1,5
1:1000	1,8	1,2	0,6	1,5	1,5
1:500	0,9	0,6	0,3	-	-

В системах теодолитных ходов предельные допустимые длины ходов между узловыми точками или между исходным пунктом и узловой точкой должны быть на 30% меньше приведенных в табл.3.3. Длины сторон в теодолитных ходах не должны превышать 350 м и не быть. менее 20 м.

При съемке застроенной территории методом перпендикуляров теодолитные хода должны располагаться от линии фасада не далее 8 метров для масштаба 1:2000, 6 м -1:1000 и 4 м – 1:500.

При съемке улиц с высокой интенсивностью движения теодолитные хода прокладывают по двум сторонам улицы. При этом возможно проложение теодолитных ходов 2-х порядков. Хода первого порядка прокладывают по улицам проездам, а хода второго на внутриквартальных территориях (рис 11.23).

Стороны теодолитных ходов измеряются светодальномерами, электронными тахеометрами, стальными 20-метровыми лентами, рулетками и другими приборами, обеспечивающими требуемую точность измерений.

Углы в теодолитных ходах измеряются теодолитами не менее 30-секундной точности одним полным приемом с перестановкой лимба между полуприемами на 90°. При измерении углов теодолитами с односторонним отсчетом по кругам (Т5, Т5К, 2Т5К) достаточно осуществить перевод трубы через зенит между полуприемами с последующей перестановкой лимба на 1-2°. Центрирование теодолитов и марок производится с помощью оптического центра или отвеса с точностью 3 мм.

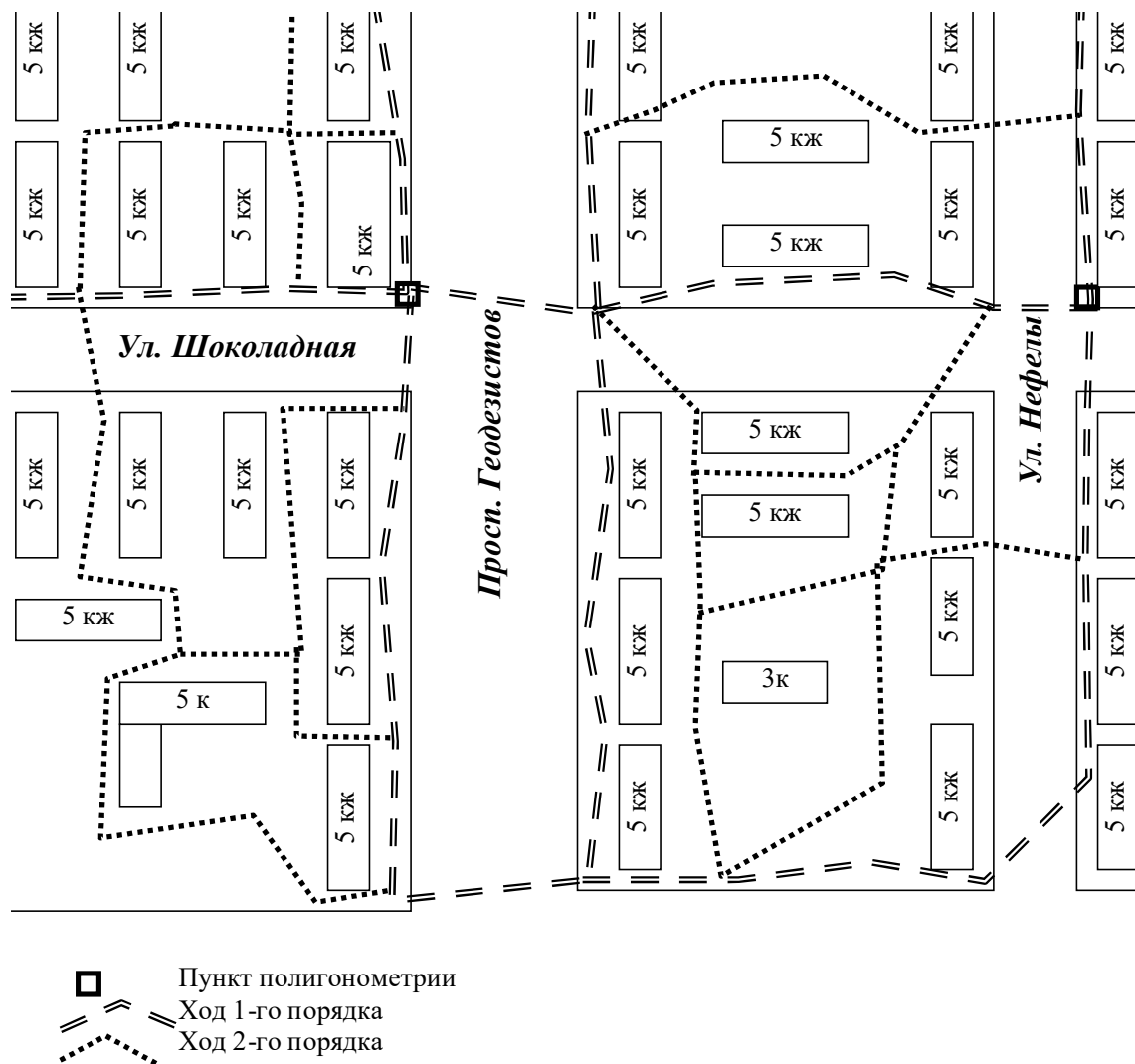


Рис. 11.23. Схема съемочного обоснования на застроенной территории.

После выполнения плановых измерений по точкам съемочного обоснования прокладывают нивелирные хода.

Уравнивание системы теодолитных и нивелирных ходов выполняют на ЭВМ в специальном программном обеспечении, например в ПК Кредо.

### Вопрос 11.2.3. Съемка проездов

Съемка застроенных территорий в масштабах 1:500, 1:1000 и 1:2000, как правило, делится на две части — на съемку фасадов и проездов и внутриквартальную съемку.

Горизонтальная съемка проездов производится методами перпендикуляров, линейных засечек, створов, полярным, обмером зданий.

Способ перпендикуляров заключается в следующем. Мерную ленту устанавливают строго в створе линии с помощью теодолита (створные точки намечают через 20 м). Затем из снимаемой точки предмета опускают перпендикуляр и при помощи стальной рулетки измеряют его длину, а по ленте делают отсчет расстояния от точки теодолитного хода до основания перпенди-



кулярами столб, дерево и линейной засечкой колодец канализации. Можно использовать створ продленной линии, например, створ стены дома №10 (рис.11.26).

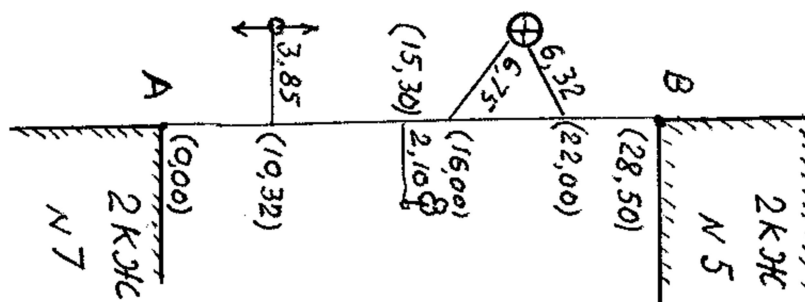


Рис.11.25. Абрис съемки со створной линии.

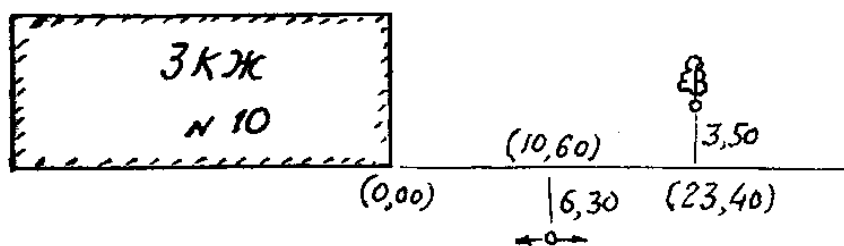


Рис.11.26. Абрис съемки со створа продленной линии.

*Нивелирование проездов* выполняется с целью получения продольных и поперечных профилей, необходимых для решения ряда инженерных задач, связанных с проектированием и строительством.

Работы по нивелированию проездов делят на две части — разбивку пикетов и точек поперечных профилей и их нивелирование. Все нивелируемые точки поперечных профилей наносят на копию плана проезда. При отсутствии такого плана точки поперечных профилей разбивают одновременно с ведением абриса. В абрисе показывают привязку точек поперечных профилей к фасадам зданий или другим контурам. Работы по нивелированию проездов целесообразно вести одновременно с их съемкой.

Разбивку пикетов можно вести по фасадам зданий (фасадным линиям) или по оси проезда. Разбивку пикетов по фасадным линиям обычно производят одновременно со съемкой во время измерения линий 20-метровыми лентами, 20- или 50-метровыми стальными рулетками. Основные пикеты, которые необходимо снять для построения поперечного профиля улицы, приведены на рис. 11.27. Количество пикетов зависит от сложности планировки улицы. Для масштаба 1:500 такую поперечную съемку необходимо выполнять с интервалом 15-20 м.

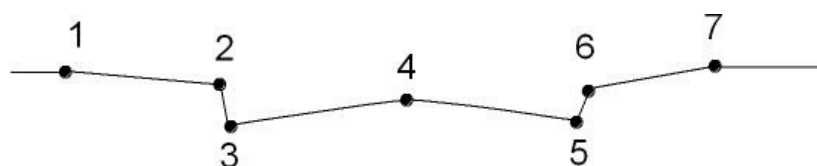


Рис 11.27. Расположение пикетных точек для построения поперечного профиля.

## Вопрос 11.2.4. Внутриквартальная съемка

Съемку внутри кварталов рекомендуется выполнять после съемки проездов и нанесения ситуации на план. Съемку можно выполнять с висячих теодолитных ходов. Здесь применяются все рассмотренные способы. Для упрощения процесса съемки при выполнении внутриквартальной съемки выполняют обмеры зданий сооружений результаты которых наносят в абрисе (рис. 11.28). Полярным способом снимают 2 или большее количество углов вычисляют их координаты. По координатам наносят углы, а способом перпендикуляров по абрису строят контур здания.

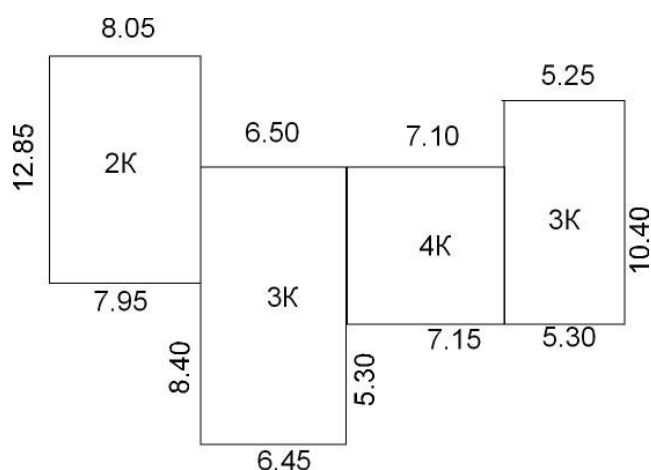


Рис 11.28. Пример абриса с результатами обмера здания

*Нивелирование кварталов* рекомендуется производить после того, как произведена горизонтальная съемка застроенной территории. При наличии копии с планов съемка рельефа нивелиром значительно упрощается. При отсутствии плана необходимо составлять специальные абрисы. Пикеты намечают у зданий, контуров ситуации и на характерных точках рельефа. На копии плана пикеты нумеруют и отмечают кружком. Отсчеты по рейкам записывают в нивелирном журнале. Направление скатов, лощин и тальвегов показывают стрелками.

На каждой станции необходимо иметь не менее двух контрольных пикетов, которые бы нивелировались с другой станции. Сравнение контрольных пикетов, вычисленных на различных станциях, даст возможность судить о точности полученных отметок, расхождения между которыми допускаются до 20 мм. Контрольные пикеты выбирают на таких точках, которые не могут изменить свою высоту за время производства работ на данном участке. Такими точками могут служить каменные ступеньки, цоколи зданий, люки колодцев, выходов подземных сооружений, костыли, забитые в асфальт, и деревянные колышки, забитые в землю.

Кроме отметок, характеризующих рельеф, определяют находящиеся внутри кварталов выходы подземных сооружений (колодцы, водосточные решетки, приемники), входы в капитальные здания со стороны двора, бровок, дна кюветов и канав. У всех водоемов (рек, ручьев, прудов) определяют урезы воды, при этом колышек забивают так, чтобы уровень поверхности воды совпадал с поверхностью колышка.

### Вопрос 11.2.5. Съёмка подземных коммуникаций

При отсутствии инженерно-топографических планов или исполнительных чертежей, их недостаточной полноте или точности, выполняется съёмка подземных и надземных инженерных коммуникаций. Съёмка выполняется одновременно с топографической съёмкой методами и средствами, принятыми для горизонтальной и высотной съёмок застроенных территорий.

Комплекс работ по съёмке существующих подземных и надземных инженерных коммуникаций включает: сбор и анализ имеющихся материалов, рекогносцировку; обследование подземных и надземных сооружений; плановую и высотную съёмку выходов подземных сооружений на поверхность земли; поиск и съёмку подземных сооружений, не имеющих выходов на поверхность земли; составление плана подземных и надземных инженерных коммуникаций с их техническими характеристиками и согласование его полноты с эксплуатирующими организациями.

До начала полевых работ по съёмке существующих подземных и надземных сооружений должны быть собраны исполнительные чертежи, инженерно-топографические планы, проектные, инвентаризационные и другие материалы о наличии, технических характеристиках и планово-высотном положении подземных и надземных сооружений. На основе анализа собранных материалов устанавливается возможность их использования в намечаемых работах.

Рекогносцировка производится для отыскания на местности по внешним признакам местоположения и назначения подземных инженерных коммуникаций.

При обследовании подземных трубопроводов, в зависимости от их назначения, должны быть определены следующие элементы и технические характеристики:

- назначение коммуникации;
- материал, количество и наружный диаметр труб;
- характеристика сети (напорная, самотечная);
- тип прокладки (канальная или бесканальная);
- тип канала (проходной, полупроходной, непроходной);
- материал и внутренние размеры канала;
- давление газа (низкое, среднее, высокое);

Для кабельных сетей определяют.

- напряжение электрических кабелей (высоковольтные - 6 кВ и выше, низковольтные);
- направление (номера трансформаторных подстанций) для высоковольтных кабелей;
- условия прокладки (в канализации, в коллекторах, бронированный кабель);
- принадлежность кабелей связи и др.

Габариты камер и колодцев надлежит отображать в масштабе плана, если их площадь составляет в натуре более 4 м<sup>2</sup> при съёмке в масштабе 1:500 и 9 м<sup>2</sup> при съёмке в масштабе 1:1000.

При съемке подземных и надземных коммуникаций должны быть отражены:

по трубопроводам

- ось трубопровода, углы поворота, вводы в дома, выпуски, центры люков колодцев, водозаборные и питьевые колонки, пожарные гидранты и поливочные краны;

кабельным сетям

- ось кабелей, вводы и выводы в здания и сооружения, центры люков колодцев, распределительные шкафы, коробки, щиты, телефонные будки;

Нивелирование подземных сооружений включает определение с точностью технического нивелирования высот люков (обечаяек) всех колодцев, а также высот, расположенных в колодце труб, лотков, каналов и кабелей промерами от обечайки с отсчетом до 1 см.

В колодцах и камерах подлежат нивелированию:

- в самотечных сетях - дно лотка; в перепадных колодцах, кроме того, высота низа входящей трубы; в колодцах-отстойниках - дно колодца, низ входящей и выходящей трубы;

- в каналах и коллекторах - верх и низ каналов (коллекторов);

- в кабельных сетях - место пересечения кабеля со стенками колодца или верх пакета при кабельной канализации.

Фиксация точек скрытых подземных коммуникаций выполняется с помощью приборов поиска, как правило, через 20, 30, 50 и 100 м при съемках в масштабах 1:500, 1:1000, 1:2000 и 1:5000 соответственно.

Результаты съемки и обследования инженерных коммуникаций могут быть представлены в виде данных, полученных с регистрирующих устройств или других носителей информации.

Средние погрешности в положении на инженерно-топографических планах скрытых точек подземных сооружений, определенных с помощью приборов поиска, относительно ближайших капитальных зданий и точек съемочной геодезической сети, не должны превышать 0,7 мм в масштабе плана.

Планы подземных и надземных коммуникаций составляются совмещенными с топографическими планами в результате чего получается инженерно-топографический план. Также планы подземных и надземных инженерных коммуникаций могут быть представлены и в виде цифровых моделей местности.

### **Вопрос 11.2.6. Трассоискатели и георадары**

Большая часть силовых трасс и коммуникаций прокладывается под землей, что обеспечивает защиту от механических и климатических воздействий, но значительно осложняет поиск и увеличивает время замены, ремонта или определения границ проведения земляных работ. Эффективным способом поиска кабельной линии является применение специальных приборов – трассоискателей.

Этот прибор умеет точно определять глубину залегания и ток в коммуникациях, позволяет находить повреждения изоляции. Трассоискатель – это не средство измерения. Это диагностический прибор, состоящий из локатора и генератора, находит кабели и трубы по электромагнитным полям, излучаемым

подземными объектами. Эти системы локации кабелей и труб предназначены для того, чтобы быстро и точно обнаружить и определить состояние подземных коммуникаций: газопроводы, электрические кабели, кабели связи, оптоволоконные кабели, водопроводы, канализацию и пр.

Технология поиска кабелей и труб основана на том факте, что проводящие кабели и трубы излучают радиосигналы – пассивные или активные – их можно обнаружить при помощи переносного приемника.

Современные приборы могут работать в трех режимах: пассивном, активном и автоматическом.

Пассивным поиском можно пользоваться в случае если кабель находится под напряжением и отсутствуют посторонние наводки способные нарушить сигнал. В других случаях, а также для поиска трубопроводов, используется активный режим с применением генератора сигналов. Автоматический режим обеспечивает сочетание имеющихся возможностей с автоматической настройкой наиболее эффективного способа поиска.

Факторами усложняющими работы являются:

высокая плотность кабельных линий;

наличие линий ЛЭП;

посторонние металлические предметы в земле;

близость ж/д путей и другие препятствия способные создать наводку.

Для успешного активного поиска необходимо чтобы частота переменного тока генератора отличалась от частоты других источников. Для этого выбирается частота не кратная 50 Гц, используемая на линиях электропитания, например 186 Гц. Для активного поиска утечек на трассе пользуются контактным щупом, который отслеживает значение тока утечки вдоль трассы. Для этого достаточно использовать аналоговый прибор. Если же необходимо найти точку и значение тока короткого замыкания, то необходим цифровой трассоискатель, который производит непрерывную обработку сигнала с определенным параметром затухания и резкого роста.

Трассировка производится с помощью микроволновых боковых приемников со светодиодными индикаторами. Светодиод активируется при нахождении кабеля с соответствующей стороны от прибора: если справа – правый, слева – левый. Когда кабель находится под трассоискателем активируются оба индикатора. Направление поиска необходимо определять медленными колебательными перемещениями вдоль примерной оси размещения определяемой линии.

В комплект трассоискателя кабельных линий представлены на рис. 11.29. Также для поиска коммуникаций и иных подземных объектов можно применить георадары.

Работа радиолокационного прибора подповерхностного зондирования (в общепринятой терминологии - георадара) основана на использовании классических принципов радиолокации. Передающей антенной прибора излучаются сверхкороткие электромагнитные импульсы (единицы и доли наносекунды), имеющие 1,0-1,5 периода квазигармонического сигнала и достаточно широкий спектр излучения. Центральная частота сигнала определяется типом антенны.

Выбор длительности импульса определяется необходимой глубиной зондирования и разрешающей способностью прибора. Для формирования зондирующих импульсов используется возбуждение широкополосной передающей антенны перепадом напряжения (ударный метод возбуждения).



Рис. 11.29. Комплект трассоискателя StreamLux Лидер-1010

Излучаемый в исследуемую среду импульс отражается от находящихся в ней предметов или неоднородностей среды, имеющих отличную от среды диэлектрическую проницаемость или проводимость, принимается приемной антенной, усиливается в широкополосном усилителе, преобразуется в цифровой вид при помощи аналого-цифрового преобразователя и запоминается для последующей обработки. После обработки полученная информация отображается на индикаторе.

Для георадаров характерна универсальность, позволяющая использовать данные прибора в геологии, транспортном строительстве, промышленном и гражданском строительстве, экологии, археологии, оборонной промышленности и т.д.

В транспортном строительстве (автомобильные и железные дороги, аэродромы) георадары используются для определения толщины конструктивных слоёв дорожной одежды и качества уплотнения дорожно-строительных материалов, изыскания карьеров дорожно-строительных материалов, оценки оснований под транспортные сооружения, определения глубины промерзания в грунтовых массивах и дорожных конструкциях, содержания влаги в грунте земляного полотна и подстилающих грунтовых основаниях, эрозии грунтов на участках мостовых переходов.

В промышленном и гражданском строительстве помимо всего вышеперечисленного георадары нашли применение для определения качества и состояния бетонных конструкций (мостов, зданий и т.д.), состояния дамб и плотин, выявления оползневых зон, месторасположения инженерных сетей (металлических и пластиковых труб, кабелей и других объектов коммунального хозяйства).

Георадары разрабатываются и производятся во многих странах, среди которых Российская Федерация. Примером российского георадара служит ОКО М1 (рис 11.30). Его приёмная и передающая антенны оснащаются отдельными легкосъёмными аккумуляторными блоками питания ёмкостью 2,2 А\*ч и напряжением 12 Вольт. Для снижения энергопотребления включение всех основных узлов в приборе происходит только в те промежутки времени, когда осуществляется зондирование. Ёмкости аккумуляторов хватает более чем на 4 часа непрерывной работы.

В экранированных антенных блоках большого размера АБ-250 и АБ-150 в целях удобства транспортировки предусмотрена расстыковка приёмной и передающей антенн для перевозки их в специальной транспортной таре. Разъёмная конструкция приёмной и передающей антенн позволяет работать в режиме зондирования, когда передающая антенна неподвижна, а приёмная перемещается. В этом случае для запуска передатчика используется дополнительный оптический кабель.



Рис. 11.30 Внешний вид георадара ОКО- М1-250

Использование датчика перемещений двух типов и пакета программного обеспечения GeoScan обеспечивает получение площадных массивов данных с последующей обработкой и визуализацией этой информации в трёхмерном виде.

Все варианты георадаров "ОКО-М1" в качестве устройства управления и отображения информации используют ноутбук любого типа. Для работы с георадаром используют пакет программного обеспечения GeoScan. Он обеспечивает управление георадаром во всех режимах и обработку информации с использованием наиболее универсальных методов обработки, включая трёхмерную визуализацию.

Результаты представления результатов зондирования нескольких параллельных профилей можно отображать на экране монитора в виде трехмерных изображений или в виде трех ортогональных проекций любого заданного объема (рис. 11.31).

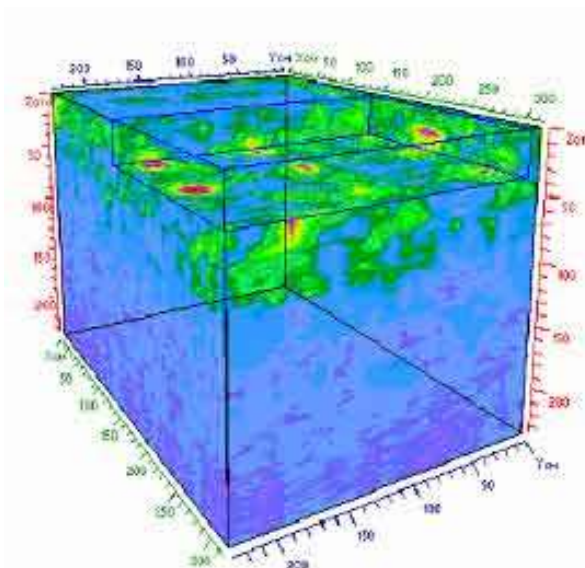


Рис 11.31. Трёхмерная модель геологического строения

## **Вопрос 11.3. Современные автоматизированные технологии топографической съемки**

### **Вопрос 11.3.1. Электронная тахеометрическая съемка**

Использование электронных тахеометров позволяет исключить все промежуточные операции, свойственные обычным тахеометрическим съемкам, выполняемым с помощью оптических теодолитов или нанограммных тахеометров, связанные со считыванием отсчетов, записью в полевые тахеометрические журналы, обработкой полевых журналов, ручной подготовкой топографических планов, дигитализацией планов при подготовке цифровых моделей местности. Все эти рутинные операции не только резко снижают производительность работ, но и неизбежно приводят к появлению определенного количества грубых ошибок и просчетов, т.е. к снижению качества конечной продукции.

Электронные тахеометрические съемки выполняют с использованием основных правил производства обычных тахеометрических съемок. Однако электронным тахеометрическим съемкам присущи некоторые специфические особенности.

При создании планово-высотного обоснования электронных тахеометрических съемок нет необходимости в частом размещении точек обоснования. Это связано с тем, что электронные тахеометры обеспечивают измерение горизонтальных расстояний до 1,5–5 км с обычной среднеквадратической ошибкой  $5\text{ мм} \pm 3\text{ мм/км}$  и горизонтальных углов и зенитных расстояний со среднеквадратической ошибкой 1–6". Все это обеспечивает определение координат точек местности и их высот с необходимой точностью при размещении съемочных точек с шагом более 500 м. Поэтому размещение точек съемочного обоснования электронных съемок и их число определяется, прежде всего, условиями видимости снимаемой местности.

Планово-высотное обоснование электронных съемок создают двумя способами:

- в виде теодолитных ходов и замкнутых полигонов, создаваемых с помощью электронного тахеометра;
- в виде теодолитных ходов и замкнутых полигонов (при очень больших размерах съемки), создаваемых с помощью электронного тахеометра (плановое обоснование) и нивелира (высотное обоснование).

Привязку планово-высотного обоснования тахеометрических съемок к пунктам государственной геодезической сети легко производят с помощью одного лишь электронного тахеометра прямыми или обратными засечками.

Съемку речных точек ведут в обычном порядке, но вместо реек используют тахеометрические вехи с одним отражателем. В ходе съемки подробностей местности ведут кодирование семантической информации.

Создание съемочного обоснования и привязку его к пунктам государственной геодезической сети осуществляют в режиме тахеометра «Полное последовательное измерение», съемку речных точек осуществляют в режиме «Слежение».

Технология измерения горизонтальных и вертикальных углов, расстояний с использованием тахеометра Trimble 3305 DR следующая:

1. Установите ножки штатива над точкой стояния по высоте удобной для работы, зафиксируйте их. С использованием оптического центрира, круглого и цилиндрического уровней выполните точное центрирование и горизонтирование прибора.

2. Включите прибор клавишей **ON**. На короткое время на дисплее появляется заставка с логотипом Trimble, номером версии и установленными значениями дополнительной константы, масштаба, температуры, атмосферного давления. Для записи в память необходимо на вопрос о записи выбрать **Да** – клавишу **MENU**.

3. Тахеометр загружается в отражательном режиме (PR), который в правом верхнем углу имеет обозначение  $\otimes$ . В этом режиме можно измерять расстояния от 1,5 до 3000 м с отражателем. Для измерения расстояний до 70–100 м можно перейти в безотражательный режим (DR), одновременно нажав клавиши **SHIFT** и **DR**. При этом в правом верхнем углу дисплея появляется значок, обозначающий безотражательный режим  $\oplus$ .

4. Наведите тахеометр на предыдущую точку съемочного обоснования (тахеометрического хода), на которой должен быть установлен отражатель (при работе в отражательном режиме PR) или веха с прикрепленной отражательной пленкой (при работе в безотражательном режиме DR). Обнулите предыдущие измерения, нажав на кнопку **DR**, а затем **MEAS**. Значение горизонтального угла **H<sub>z</sub>** на дисплее должно стать **0°00'00"**. Далее снимаем отсчет расстояния на данную точку клавишей **MEAS**. Полученный результат отображается на экране, к примеру, как **SD 72.127 м**.

5. Далее по часовой стрелке наводим на ближайший пикет, на котором расположен отражатель или отражательная пленка на высоту прибора. Для удобства наведения можно включить режим лазерного указателя одновременным нажатием **SHIFT** и **MEAS**. На визируемом объекте появляется красное видимое лазерное пятно. Этот режим можно использовать только в безотражательном режиме! Отсчеты по горизонтальному и вертикальному углу, определение расстояний выполняются при нажатии клавиши **MEAS** (рис.3.26).

SD	72.127 m	$\otimes$ <b>K+T</b>		
→Hz	101°55'40"			
⊥V	-1°05'27"			
<b>HzV</b>	<b>Hz=0</b>	<b>V%</b>	<b>РАЗР</b>	<b>-2</b>

Рис. 3.26. Результат измерения в отражательном режиме.

Из рис.3.26 следует, что наклонное расстояние (SD) до пикета составляет 72,127 метра, горизонтальный угол (Hz) от начального направления до пикета – 101055/40//, вертикальный угол (V)– 1005/27// и эти показатели определены в отражательном режиме.

Далее по часовой стрелке осуществляется визирование на все пикеты и снятие отсчетов клавишей MEAS.

6. После съемки всех пикетов со станции тахеометр необходимо выключить одновременным нажатием клавиш ON и OFF. После съемки пикетов со всех станций данные скачивают с тахеометра на компьютер с использованием программы Data Transformer. Технология перекачки данных и их последующей обработки будет рассмотрена на практических занятиях.

### Вопрос 11.3.2 Электронно-блочная тахеометрия

При определении положения граничных точек удобно использовать метод свободной станции (соответствующих точек). Сущность метода заключается в том, что весь объект, подлежащий съемке, разделяют на отдельные участки-блоки. В пределах блока съемку выполняют с одной установки электронного тахеометра. Положение пикетов с граничных точек определяют полярным методом при «произвольном» ориентировании лимба горизонтального круга. При съемке пикетов в программу наблюдений включаются имеющиеся в блоке исходные пункты и связующие точки. Местоположение связующих точек определяют в процессе рекогносцировки вблизи границ смежных блоков. На геодезические исходные пункты и связующие точки измеряют расстояния, горизонтальные углы и углы наклона. В общем случае для обеспечения последующего совмещения отдельных блоков в единый необходимо иметь по две связующие точки на каждой из смежных сторон блоков. Особенностью метода является то, что необязательна видимость между смежными съемочными пунктами, на которых устанавливается электронный тахеометр.

Размеры блоков и количество съемочных пунктов (станций) зависят от местных условий. В случае равнинной местности при наличии больших зон видимости построение съемочного обоснования возможно по схеме, приведенной на рис. 11.32.

На ней обозначено:  $A, B, \dots$  — исходные пункты с известными координатами;  $C_1, C_2 \dots$  — связующие точки;  $T_1, T_2 \dots$  — съемочные станции.

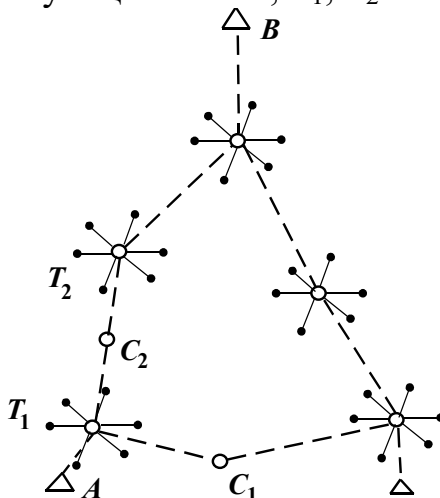


Рис. 11.32. Схемы построения съемочного обоснования.

В последующем отдельные блоки (рис. 11.33) связывают в единую сеть.

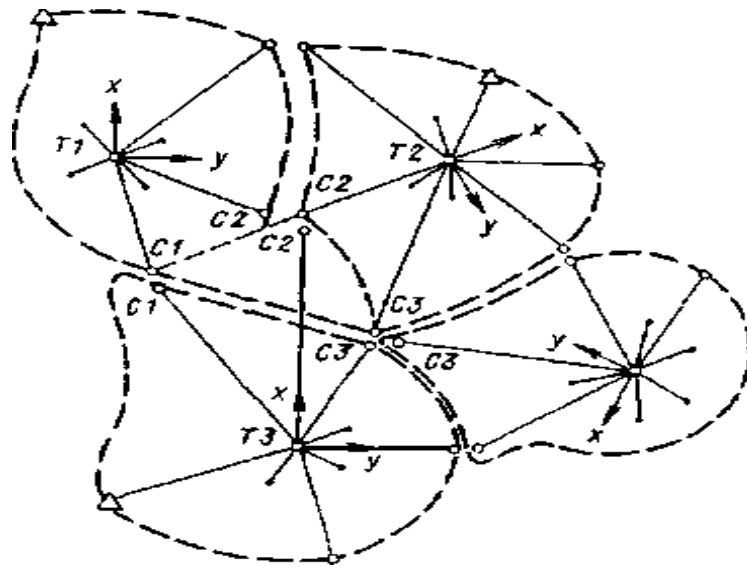


Рис. 11.33. Единая сеть съемочного обоснования.

Местоположение определяемых точек при этом вычисляются в единой системе координат. По окончании съемки составляется математическая модель местности, которая хранится в памяти ЭВМ и может быть реализована в виде топографического плана.

Координаты связующих точек  $X_c, Y_c$  и станций  $X_T, Y_T$  могут быть вычислены различными способами. Простейший из них заключается в вычислении соответствующих координат по измеренным значениям горизонтальных углов  $\beta_1$  и  $\beta_2$  (рис. 11.34), горизонтальным проложениям  $S_1, S_2, S_3, S_4$ , призмического угла  $\beta_0$  и координатам  $X_A, Y_A$  исходного пункта. Из треугольника  $AC_1C_2$  имеем

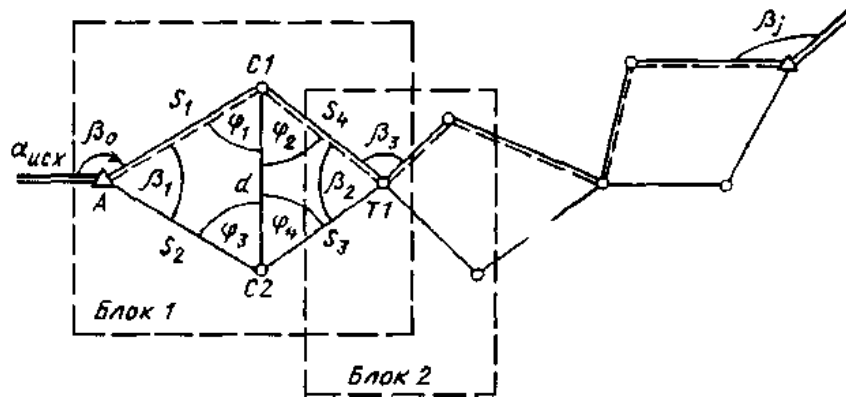


Рис. 11.34. Схема хода.

$$d^2 = S_1^2 + S_2^2 - 2S_1S_2 \cos \beta_1, \quad (11.16)$$

$$\sin \varphi_1 = \frac{S_2}{d} \sin \beta_1. \quad (11.17)$$

Переходя к треугольнику  $C_2C_1T_1$ , получают

$$\sin \varphi_2 = \frac{S_3}{d} \sin \beta_2. \quad (11.18)$$

Тогда,

$$X_{C_1} = X_A + S_1 \cos \alpha_{AC_1}, \quad (11.19)$$

$$Y_{C_1} = Y_A + S_1 \sin \alpha_{AC_1}, \quad (11.20)$$

где  $\alpha_{AC_1} = \alpha_{исх} + \beta_0 - 180^0$ .

Следовательно,

$$X_{T_1} = X_{C_1} + S_4 \cos \alpha_{C_1T_1}; \quad Y_{T_1} = Y_{C_1} + S_4 \sin \alpha_{C_1T_1}, \quad (11.21)$$

где  $\alpha_{C_1T_1} = \alpha_{AC_1} - (\varphi_1 + \varphi_2) + 180^0$ .

Контролем вычислений координат является повторное определение соответствующих элементов через углы  $\varphi_3$  и  $\varphi_4$ .

Высоты связующих точек и станций определяют методом тригонометрического нивелирования. Для этого на станциях и исходных пунктах должны быть измерены углы наклона на связующие точки. Превышения между станциями определяют как сумму двух превышений: от исходного пункта или предыдущей станции до связующей и от нее до определяемой.

При обработке можно выделить ходовую линию, по которой выполнить уравнивание результатов измерений и вычислить координаты и высоты станций. В последующем, используя эти координаты, вычисляют координаты пикетов. Тем самым создают цифровую модель участка местности, которая в последующем представляется в удобном для пользователя виде.

Из сказанного следует, что в процессе обработки используются значения углов по ходовой линии, полученных как в результате их непосредственных измерений, например  $\beta_0, \beta_3$  (см. рис. 11.34), так и измеренных косвенным путем.

Определение положения связующих точек в блочной тахеометрии производится при произвольном ориентировании лимба горизонтального круга прибора на станции. Это приводит к тому, что координаты связующих точек определяются фактически в разных координатных системах. На рис. 11.35 показаны две системы координат для станций  $A$  и  $B$ . В обеих системах начало координат совмещено с точкой установки прибора, а направление осей абсцисс выбрано вдоль нулевого штриха лимба горизонтального круга. Естественно, что две системы координат будут развернуты на некоторый угол  $\gamma$ . Для определения угла  $\gamma$  вначале вычисляют координаты связующих точек 1 и 2.

В системе координат точки  $A$  получим

$$X_1 = X_A + S_1 \cos \varphi_1; \quad Y_1 = Y_A + S_1 \sin \varphi_1, \quad (11.22)$$

$$X_2 = X_A + S_2 \cos\varphi_2; \quad Y_2 = Y_A + S_2 \sin\varphi_2, \quad (11.23)$$

где  $S_1, S_2, \varphi_1, \varphi_2$  – измеренные горизонтальные проложения и соответствующие направления.

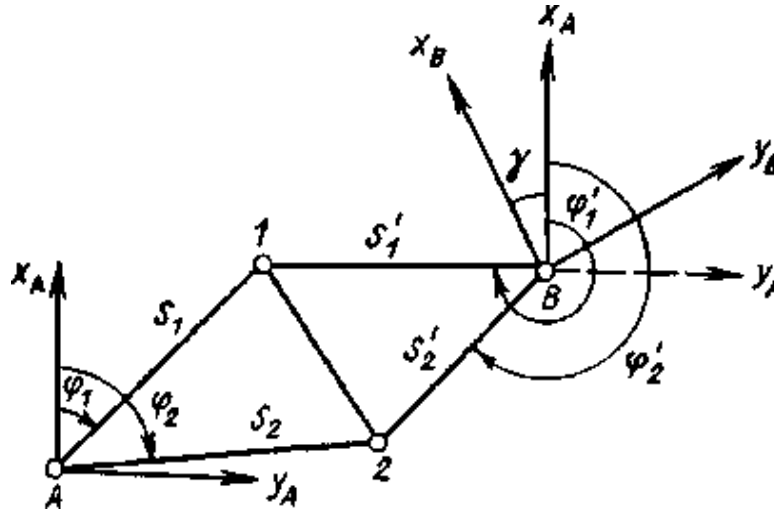


Рис. 11.35. Схема связи систем координат.

Решая обратную геодезическую задачу, найдем дирекционный угол  $\alpha_1$  линии 1–2 в системе координат  $A$ . Аналогично найдем  $\alpha_2$  в системе координат точки  $B$ . После чего вычислим угол разворота осей

$$\gamma = \alpha_1 - \alpha_2. \quad (11.24)$$

Параллельный сдвиг системы координат точки  $B$  относительно точки  $A$  определится путем сопоставления одноименных координат соответствующих точек.

Точность определения координат связующих точек зависит от геометрии сети и принятого способа ее уравнивания. Довольно часто на практике не производят строго уравнивание сети в целом, а ограничиваются уравниванием результатов измерений, выполненных в отдельных блоках. В последующем выделяют некоторую ходовую линию, связывающую все блоки, и вычисляют координаты и отметки пикетных точек. Для упрощения расчетов, отметки пикетов в пределах блока определяют через горизонт прибора, а высоты станций получают путем уравнивания превышений, измеренных методом тригонометрического нивелирования по ходовой линии.

### Вопрос 11.3.3. Совместное использование GPS с тахеометром

Технология работ при определении положения поворотных точек границ земельных участков геодезическими спутниковыми системами (GPS-технология) имеет важные особенности, резко отличающие GPS-технология от традиционных способов. Прежде всего, это относится к исключению необходимости наличия прямой видимости между пунктом, от которого передают

координаты, и определяемым пунктом. В то же время, GPS-технология имеет ряд ограничений. Важнейшее из них – отсутствие на момент измерений препятствий на трассе «созвездие искусственных спутников земли – антенна приемного устройства».

Известно, что границы земельных участков, особенно в сельской местности, довольно часто проходят по кромкам живых урочищ, например, лесных массивов, по оврагам, просекам, в карьерах и тому подобных «закрытых» местах.

В некотором роде конструкция (компоновка) антенных устройств спутниковых систем также является препятствием широкого использования GPS-технологий, к примеру, невозможность установки антенны на углы зданий (на уровне их цоколя или фундамента). Однако данные элементы сооружений, особенно в городах и сельских населенных пунктах, часто являются граничными и подлежат обязательному координированию.

Поэтому возникает необходимость применения при установлении границ участков комбинированной технологии, в которой наряду с GPS-технологией используются традиционные методы (способы) определения положения (координат) точек объектов.

В последнее время активно используются комбинации «GPS-технология» + «метод свободной станции (связующих точек)» [15]. При ее реализации удобно использовать комплект приемников спутниковых сигналов и электронный тахеометр.

Технология работ комбинированным способом предусматривает синхронные наблюдения (в рамках GPS-технологии) на не менее двух (лучше трех) опорных пунктах с известными координатами и на определяемых пунктах. Совмещение последних с поворотными точками границ участков является необязательным. Параллельно с GPS-наблюдениями проводят измерения координат ряда граничных точек полярным методом с пунктов (съемочных станций), положение которых определяется по технологии метода свободной станции. При этом, часть пунктов, определенных по GPS-технологии, используют в качестве связующих, а в отдельных случаях и в качестве съемочных станций.

В комплект используемых приборов входит, помимо приемных устройств, устанавливаемых на опорных пунктах, один приемник сигналов искусственных спутников Земли (ИСЗ), электронный тахеометр и отражатели, закрепляемые на штативах и специальных вешках с уровнями.

Исполнители, находящиеся на опорных пунктах, обеспечивают бесперебойную работу приемных устройств. В принципе, опорные пункты могут быть стационарными, обеспечивающими соответствующие работы не только на одном конкретном объекте, а и по всей «зоне перекрытия».

Положение каждой съемочной станции (СТ1 – СТ4) определено по GPS-технологии, а поворотные точки границы участка используют в качестве связующих (рис. 11.36). Особенность работ – применение для контроля метода перпендикуляров (см. поворотные точки 18 и 19), при этом положение граничных точек 15, 16, 17 определено линейной засечкой.

Опорные пункты могут быть стационарными. Места их расположения зависят от технических параметров приемников и, прежде всего, от их точности и дальности действия. Под последним подразумевается расстояние между двумя смежными пунктами (опорный – определяемый), при котором взаимное положение этих пунктов определяется с необходимой точностью (конечно, при благоприятной для измерений конфигурации рабочего созвездия ИСЗ).

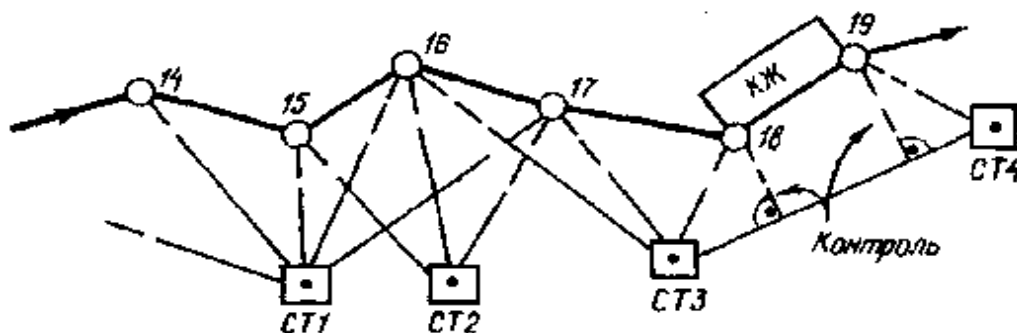


Рис. 11.35. Модификация комбинированного метода.

Повышение производительности труда, сокращение сроков работ на объектах и повышение качества конечной продукции возможны только с использованием новых технических средств как при полевых измерениях и сборе топографо-геодезической информации, так и при камеральной обработке информации и предоставлении результатов. Применение нового поколения технических средств позволит изменить общую структуру автоматизированной обработки информации, приблизить процесс обработки к полевым измерениям, получить результаты вычислений и возможно более полную оценку качества продукции.

Для проведения вышеописанных работ фирмой Leica разработана система 1200 (X-Function), в которую входит электронный тахеометр TPS1200 (рис. 11.36), вместе с GPS1200. Они имеют унифицированный интерфейс; идентичное управление данными; стандартизированные аксессуары; мощные полевые прикладные программы; общее программное обеспечение LEICA Geo Office.



Рис. 11.36. Тахеометр TPS1200.

TPS1200 обладает технологиями и средствами, увеличивающих производительность при съемках: PinPoint – безотражательный дальномер (RL); система автоматического поиска цели (ATR); система автоматического слежения за целью (LOCK); система быстрого поиска отражателя (PS); устройство для установки в створ (EGL); пульт дистанционного управления (RX1220).

Коаксиальный дальномер с несколькими режимами измерений позволяет измерять до 3-х км на одну призму, а в безотражательном режиме – до 500 м.

Тахеометры TPS1200 поставляются в большом диапазоне стандартных и моторизованных моделей, могут быть использованы, как для GPS1200, так и для других приборов Leica.



Рис. 11.37. Спутниковый приемник GPS1200.

GPS1200 (рис. 11.37) может работать совместно с измерителями расстояний: лазерной рулеткой DISTO и безотражательным биноклем Vector. С помощью этих устройств можно снимать точки, которые невозможно снять с помощью GPS (например, находящиеся под крышей). Все данные записываются напрямую в память GPS-приемника.

Для работы в режиме реального времени с GPS1200 можно использовать радиомодемы, мобильные телефоны GSM, беспроводные устройства и TDMA модули.

Типовой набор программ, встроенных в приборы серии 1200: съемка и ориентирование; обратная засечка; разбивки; базисная линия / дуга; недоступные расстояния; вычисление площадей; недоступная высота; скрытая точка; построение; высота недоступной точки; мониторинг; разбивки по ЦММ; сканирование поверхности; опорная плоскость; ход; круговые приемы; автоматическая запись; выравнивание дороги; программы координатной геометрии.

#### **Вопрос 11.3.4. Лазерное сканирование**

Лазерный сканер это съёмочная система, измеряющая с высокой скоростью (от нескольких тысяч до миллиона точек в секунду) расстояния от сканера до поверхности объекта и регистрирующая соответствующие направления (вертикальные и горизонтальные углы) с последующим формированием трёхмерного изображения (скана) в виде облака точек.

В настоящее время на рынке существует несколько коммерческих моделей трехмерных лазерных сканирующих и моделирующих систем наземного базирования.

Система состоит из портативного, работающего в автоматическом режиме, пульсового лазера и полевого персонального компьютера со специализированным программным обеспечением. Для сканирования пользователь направляет лазер в сторону объекта (если можно так сказать про систему с полем зрения  $360(180^\circ)$ ), встроенная система визуализации выводит на экран компьютера изображение, позволяющее оператору контролировать поле зрения сканера. Оператор при необходимости уточняет область сканирования, расстояние между точками (разрешение) и запускает процесс сканирования, после чего прибор автоматически сканирует выбранную область при помощи оптико-механических систем, быстро «проводящих» пульсирующим лазерным лучом сканера по измеряемой области.

Типовая система способна проводить работы по получению трехмерной цифровой модели с точностью от долей миллиметров до 5 см на расстоянии от нескольких десятков до 2500 м за время от нескольких секунд до десятков минут. Лазер имеет поле зрения от  $40(40^\circ)$  до  $360(180^\circ)$  и подходит для съемки и моделирования местности и инженерных объектов.

Система не требует применения отражателей, так как используется безотражательный принцип работы. Трехмерная конфигурация снимаемой по-

верхности регистрируется с одновременным выводом на дисплей в виде массива точек, имеющих три координаты и, как правило, показатели интенсивности отражения и/или «истинного цвета». Таким образом, мгновенно создается трехмерная растровая модель снимаемого объекта.

Результаты сканирования (сканы), проведенного с различных точек, могут быть «сшиты» друг с другом для создания полной модели комплекса конструкций и местности с помощью программного обеспечения (ПО). ПО позволяет визуализировать модель, вращать объект, перемещаться и проводить измерения между любыми точками или моделируемыми поверхностями, «заглядывать», «гулять» по только что снятому объекту. Каждая графическая точка может быть окрашена в зависимости от интенсивности отраженного лазерного сигнала, «истинного цвета» или другого параметра (например, высотной отметки или удаления от точки съемки), что улучшает визуализацию объекта. Подобной функцией обладают не только специализированные «сканерные» программы, но и более широко распространенные программные продукты.

По результатам полевой съемки возможно построение модели снимаемой местности или объекта – объединения точек в сеть триангулированных ячеек (TIN-модель). Программа автоматически определяет границы ячеек, формирует очертания отдельных объектов, анализирует интенсивность и цвет изображения и получает модель с четкими контурами и цветовым разграничением различных геометрических элементов (откосы, трубы, резервуары, стальные конструкции и т.д.). Процесс занимает немного времени, что позволяет получать трехмерное изображение объекта непосредственно в полевых условиях.

Трехмерная модель, получаемая в процессе сканирования, изначально не является векторной (не описана набором математических уравнений), но по ней можно выполнять пространственные измерения: вычислять объемы насыпи и выемки, расстояния между точками, нормальные расстояния от точки до поверхности, между поверхностями и осями и отдельными составляющими модели. Точечный массив может быть преобразован в векторную трехмерную модель и двухмерные рисунки с помощью различных программ, которые могут использоваться вместе со сканирующими и моделирующими системами и содержат библиотеки объектов. Модель и контуры могут быть напрямую перенесены в среду AutoCAD (Autodesk, Inc., США), MicroStation (Bentley Systems, Inc., США), 3D StudioMax и других САПР и ГИС.

Недостатками трехмерной растровой модели являются большой объем занимаемой памяти (до 18 Мб на один «скан» при поле зрения 360(180° и углом разрешения 0.1°). Векторная трехмерная модель того же объекта занимает всего 20–500 Кб. В то же время растровая модель имеет ряд преимуществ: она получается сразу же после завершения сканирования и стоит дешевле.

Преимущества метода перед тахеометрической съемкой и другими наземными видами съемки:

- мгновенная трехмерная визуализация;
- высокая точность;
- несравнимо более полные результаты;
- быстрый сбор данных;
- обеспечение безопасности при съемке труднодоступных и опасных объектов.

Материальные затраты по сбору данных и моделированию объекта методами трехмерного лазерного сканирования на небольших участках и объектах сопоставимы с традиционными методами съемки, а на участках большой площади или протяженности – ниже. Даже при сопоставимых расходах на съемку, полнота и точность результатов лазерного сканирования позволяют избежать дополнительных расходов на этапах проектирования, строительства и эксплуатации объекта. Сравнение временных затрат просто бессмысленно – счет идет на порядки.

Также лазерное сканирование имеет преимущество и **перед фотограмметрическими способами съемки**. Лазерное сканирование и моделирование аналогично фотограмметрическим методам, но позволяет получать координаты с одной точки стояния и без последующей камеральной обработки – с возможностью контроля измерений непосредственно в полевых условиях. Кроме того, обеспечивается более высокая точность измерений по сравнению с фотограмметрическими методами при одинаковом удалении от снимаемого объекта.

Также необходимо отметить такие преимущества лазерного сканирования как:

- возможность настройки некоторых моделей сканеров на фиксацию первого и/или последнего отражения, что позволяет разделять отраженный сигнал от растительности и поверхности земли – «пробивать» растительность;
- упрощенная схема привязки к системе координат.

Финансовые и временные затраты говорят в пользу лазерного сканирования. При отсутствии необходимости векторизации трехмерного раstra работа с результатами лазерного сканирования может выполняться в режиме реального времени, что для фотограмметрических способов невозможно.

Внешний вид лазерного сканера стационарного типа представлен Leica ScanStation на рис. 11.37 а его технические характеристики в табл. 11.5.



Рис 11.37. Внешний вид стационарного лазерного сканера Leica ScanStation

Также широко распространены мобильные сканеры, устанавливаемые на автомобили. Пример такого сканера приведен на рис. 11.38, а его технические параметры в табл. 11.6.

Т а б л и ц а 11.5 Основные технические характеристики лазерного сканера Leica ScanStation

Производитель	<a href="http://www.leica-geosystems.com">Leica Geosystems</a>
Максимальное рабочее расстояние	270.0 (м)
Скорость сканирования	1000000.0 (точек/сек)
Длина, ширина, высота	358.0 (мм), 238.0 (мм), 395.0 (мм)
Вес	12.0 (кг)
Точность измерения расстояния	1.2 мм + 10 ppm на всем диапазоне
Видоискатель	встроенная цифровая HDR-камера
Поле зрения по вертикали/по горизонтали	270° / 360°
Пыле/влагозащита	IP54
Рабочая температура, °С	-20°С - +50°С
Длительность работы от аккумулятора	от 5.5 часов (2 батареи)
Компенсатор	+/- 5'
Угловая точность	8''/8'' (40мкрад/40мкрад) при 1 sigma



Рис. 11.38. Мобильный сканер Trimble MX9

Таблица 11.6. Технические характеристики сканера

Управление	Планшет или ноутбук, WiFi или сетевой кабель
Хранение данных	1 комплект (2 x 2 ТБ SSD, съемный)
Камера	1x сферическая камера 30 Мп (6 x 5 Мп); 2x камеры бокового обзора 5 Мп; 1x камера заднего/ нижнего обзора 5 Мп
Применение	Мобильный 3D-сканер
Скорость сканирования	2 000 000
Класс лазера	1, безопасен для глаз
Максимальная дальность	420 м
Минимальная дальность	1,2 м
Дальность измерений (18%)	150 м
Поле зрения	360° "полный круг"
Точность 3D-модели	5 мм / 3 мм
Встроенная камера	Есть
Камеры	1x сферическая камера 30 Мп (6 x 5 Мп); 2x камеры бокового обзора 5 Мп; 1x камера заднего/ нижнего обзора 5 Мп
Скорость съемки	10 кадров/сек
Точность единичного измерения	5 мм / 3 мм
Местоположение	Координаты X, Y 20; Координата Z 50 мм
Потребляемая мощность	200 - 350 Вт
Рабочая температура	от 0°C до +40°C
Температура хранения	от -20 °C до +50 °C

### Вопрос 11.3.5. Форматы файлов электронных тахеометров

Наиболее распространенной формой представления результатов измерений в электронных тахеометрах является размещение их в виде таблицы. Так, например, у электронного тахеометра ЗТА5 информация представлена в виде семи столбцов. Первый столбец содержит информацию о типе измерений (служебная информация). Второй номера станций или пикетов. Третий код объекта. Четвертый код станции, координату X или результат линейных измерений. Пятый координату Y или горизонтальное направление. Шестой высоту станции или вертикальный угол (зенитное расстояние). В последней колонке приводятся данные о высоте прибора или вешки. Всего в одной строке содержится 80 символов (11.39).

0010	5000		22	5002	50000	1.535
1100	5000		3	1000.000	1000.000	100.000
2012	5001	120	45.166	32	903440	1.535
2012	5001	120	45.233	1800026	2692455	1.535
2012	5002	120	65.393	202245	894007	1.535
2012	5002	120	65.408	2002315	2701908	1.535
2012	1	702011	29.136	464510	885951	1.535
2012	2	400	28.608	153114	902356	1.535
2012	3	400	19.524	194421	903741	1.535
2012	4	220111	10.847	2063030	892051	1.535
2012	5	2201	16.896	3573430	903628	1.535

Рис. 11. 39 Файл с измерениями тахеометра ЗТА5

Аналогичным образом построены и другие форматы данных. Так в тахеометрах Elta 55 Trimble 3305 3600 и других применяются форматы Rec500, R4, R5, M5. Различие в форматах данных состоит в длине строки от 80 до 121 символа и соответственно в количестве позиций выделяемых на хранение номера пикета и его кода. Наиболее современным является формат M5. Он позволяет хранить одновременно как сырые измерения, так и результаты их обработки.

Структура файла формата M5 более сложная чем у российских тахеометров (рис 11.40).

Заголовок						
For M5 Adr 00001	TI START	01 M3 5"DR	02 131500		03 1.00	
For M5 Adr 00002	TI	04 30				
For M5 Adr 00003	TI	05 1	06 1			
For M5 Adr 00004	TI	20 1	21 11	22 16		
For M5 Adr 00005	TI	th 1.900 m	ih 1.600 m			
For M5 Adr 00006	TI	i -0.0005 grd	c 0.0025 grd	SZ 0.0005 grd		
For M5 Adr 00007	TI			SK 0.0060 grd		
For M5 Adr 00008	TI	T_ 20 C	P 1012 hPa	PC 0.035 m		
For M5 Adr 00009	TI END	m 1.000000				
Станция						
For M5 Adr 00010	PI1 S 1	X 1000.000 m	Y 1000.000 m	Z 100.000 m		
For M5 Adr 00011	TI INPUT	th 1.651 m	ih 1.573 m			
For M5 Adr 00012	TI POLAR					
Измерения						
For M5 Adr 00013	PI1	3 SD 4.282 m	Hz 79.0011 DMS	V2 1.3006 DMS		
For M5 Adr 00014	PI1	3 X 1000.817 m	Y 1004.202 m	Z 100.035 m		
For M5 Adr 00015	PI1	4 SD 4.379 m	Hz 110.1429 DMS	V2 1.2316 DMS		
For M5 Adr 00016	PI1	4 X 998.485 m	Y 1004.108 m	Z 100.029 m		

Рис. 11.40. Файл формата M5

В файле формата M5 сначала описывается заголовок файла. В заголовке приводится информация о марке прибора, основных постоянных (коллимационной ошибке, местенуля, поправке отражателя), высоте прибора и отражателя, масштабе, температуре и давлении. Далее следует описание станции. Оно включает координаты станции, высоту прибора и отражателя. Затем приводятся результаты измерений на станции и координаты или координаты пикетов.

### Вопрос 11.3.6. Задачи полевого кодирования

Основным результатом камеральной обработки материалов тахеометрической съемки в настоящее время является цифровая модель местности (ЦММ) [1]. Качество и оперативность формирования ЦММ при компьютерной постобработке полевых данных, зависят от способа кодирования топографических объектов в полевых условиях.

Основной задачей топографической съемки является фиксация с требуемой точностью пространственного положения точек. Однако, для формирования полноценной ЦММ, данных о пространственном положении точек явно недостаточно. Необходима дополнительная информация о геометрии снимаемых объектов, о том, как точки связаны между собой и как они соотносятся с рельефом местности, какие семантические характеристики (атрибуты) имеют объекты, описываемые снимаемыми точками и их связями.

Наиболее простой подход к решению проблемы — импорт в систему, обеспечивающую интерактивно графическое редактирование координат точек и создание элементов ЦММ вручную. Такой метод очень трудоемок, затраты времени на камеральную компьютерную обработку могут превышать время, затраченное на полевые работы.

Другой подход, такой же простой, требует от полевого исполнителя производства съемки строго по последовательности точек, описывающих каждый отдельный объект.

Каждая программа обработки топографической информации предусматривает использование собственной системы полевого кодирования. При этом требуется использовать либо специальных электронных регистраторов, либо и библиотек кодов при регистрации кодировки непосредственно в памяти электронного тахеометра. Но на практике широко используются относительно простые с ограниченными возможностями регистрации кода электронные приборы. Они имеют неполную клавиатуру: буквы и цифры вводятся перебором при нажатии функциональных клавиш. Набор вводимых символов также невелик, что накладывает определенные ограничения на синтаксические возможности кодовой строки. С ростом квалификации пользователей, совершенствованием технологии работ растут и требования к системе полевого кодирования.

Система должна обеспечивать выполнение двух основных функций:

1) управление процессом съемки (формирование в выходном файле информации по станции, параметров прибора и условий работы и т.п.) в тех случаях, когда программное обеспечение электронного тахеометра эту процедуру не поддерживает;

2) ввод и накопление геометрической и семантической информации о топографических объектах.

Реализация второй функции состоит в решении нескольких задач:

- установить связь между снимаемой точкой или связанной цепочкой точек и конкретным топографическим объектом, что позволит отобразить его в ЦММ соответствующим условным знаком и наполнить базу данных ЦММ семантическим описанием этого объекта;

- определить геометрию связи цепочки точек (отрезки, дуги, сплайны и их комбинации);

- определить тип каждой снимаемой точки (исходная/рабочая) и ее отношение к цифровой модели рельефа, то есть определить, принадлежит ли точка моделируемому рельефу (рядовой пикет) или нет (низ проводов ЛЭП, точка на крыльце, на поднятом над поверхностью люке колодца и т.п.);

- определить, является ли снимаемая линия рельефообразующим элементом (структурной линией рельефа) или нет;

- задать семантическое описание объекта в виде набора атрибутов (материал, диаметр, породу и характеристики древостоя и т.п.);

- разделить несколько одновременно снимаемых одинаковых топографических объектов;

- в процессе формирования ЦММ выполнить дополнительные построения элементов снимаемого объекта (достроить прямоугольник, окружность, провести параллельную линию и т.д.).

При решении указанных задач используют 2 принципа:

- одинаковый подход для разных типов электронных тахеометров, обеспечивающий единство в процессе внедрения, обучения, организации производства работ и взаимодействия полевых и камеральных структур в крупных организациях;
- максимальное использование возможностей электронных тахеометров с ограниченными ресурсами.

Система включает две части: набор инструкций по кодированию в процессе полевых работ (синтаксис кодовой строки) и набор функций в программе постобработки (анализ кодовой строки, автоматизированное построение элементов ЦММ, интерактивное редактирование построения и семантической информации). Рассмотрим более подробно систему кодирования Credo.

### Вопрос 11.3.7. Элементы кодовой строки

Базовым понятием полевого кодирования является кодовая строка. Она представляет собой одно или несколько полей (слов), несущих информацию по управлению данными, т.е. особенности обработки, построения по точкам, семантика объектов.

Формат кодовой строки в импортируемом текстовом файле может отличаться от формата ее представления в табличном редакторе программы постобработки. Кодовая строка может быть представлена в одном из двух форматов: *стандартном* алфавитно-цифровом (Ф1) и *компактном* цифровом (Ф2).

Стандартный формат предполагает использование произвольных отображаемых символов, а также наличие пробелов в качестве разделителей. Компактный формат является позиционным, где в качестве символов для зарезервированных слов используются только цифры. Символы для слов, определяемых пользователем (например, код УЗ), могут быть любыми. Это делает компактный формат менее удобным для чтения, но зато более универсальным и пригодным для кодирования на основе полевых накопителей с ограниченными возможностями ввода.

Кодовая строка может содержать множество элементов.

**Код** — топографический код объекта, вводимый в составе кодовой строки в процессе съемки и соответствующий коду такого объекта в классификаторе CREDO для данного проекта. Для стандартного формата код - это слово, состоящее из произвольных отображаемых символов, например 375, КОЛ, КОЛОД, КОЛОДЕЦ, ДЕР, ДЕРЕВО и т.п., то есть слово, соответствующее данному топографическому объекту в классификаторе пользователя. Для компактного формата используется трехсимвольный цифровой код, например 375, 220. Соответственно, и пользовательский классификатор должен быть настроен на аналогичные коды. В компактном формате, так же как и в стандартном, если это удобно для конкретного прибора, могут использоваться нецифровые символы, например А42, 22У.

**Идентификатор** необходим при одновременной съемке нескольких линейных или площадных объектов с одинаковым кодом. Идентификатором служат цифры от 0 до 9. Отсутствие идентификатора и идентификатор 0 равнозначны.

**Атрибут** — часть кодовой строки, содержащая семантическое описание топографического объекта (толщина ствола, ширина кроны, назначение и т.п.). Атрибуты поддерживаются только в стандартном формате.

**Признак 1** описывает отношение линейного или площадного объекта к рельефу. При наличии признака по линии создаваемого линейного объекта программой формируется структурная линия (break-line), а для замкнутого контура площадного объекта создается контур рельефа. Признак 1 в стандартном формате задается **символом** b, в компактном — вводом знака '-' (минус) перед кодовой строкой. Признак программно обрабатывается только для линейных и площадных объектов классификатора.

**Признак 2** описывает две характеристики точки:

1. Отношение текущей снимаемой к рельефу и ее участие при его моделировании

2. Тип плановых координат и высотной отметки (исходные/свободные).

Символы, используемые для задания принадлежности точки к рельефу приведены в табл. 11.7. По умолчанию все точки считаются рельефными.

**Команда** - поле, описывающее указание по управлению съемкой или порядок построения топографических линейных или площадных объектов. Команды могут иметь параметры в виде числа (радиус, ширина и т.п.) или ссылки.

Поле **ссылка** (выделенное символом # и задаваемое в любом месте командной строки, начинающей объект) задается только в стандартном формате и служит уникальным именем линейного или площадного объекта. Ссылка указывается в качестве параметра команды PAR — построить линию, параллельную линейному объекту с данной ссылкой.

Таблица 11.7. Код принадлежности точки к рельефу

Отношение отметки к рельефу и тип координат	Значение
Рельефная	0
Рельефная, исходная по ХУ	1
Рельефная, исходная по Н	2
Рельефная, исходная по ХУН	3
Ситуационная	4
Ситуационная, исходная по ХУ	5
Ситуационная, исходная по Н	6
Ситуационная, исходная по ХУН	7
Нерельефная	8
Нерельефная, исходная по ХУ	9

### Вопрос 11.3.8 Стандартный формат полевого кодирования

Кодовая строка, в стандартном формате содержащая информацию о геометрической структуре топографического объекта или команду управления, имеет в полном объеме следующий вид:

[код [-идентификатор]] [команда [параметр] [признак!]] [#ссылка] [/дескриптор=атрибут] [признак2]

Здесь поля "признак2" и "дескриптор" могут следовать за полем "код" в произвольном порядке. При отсутствии кода поле "дескриптор" игнорируется.

Ключевыми символами в кодовой строке являются:

- разделители слов в кодовой строке: пробелы;
- зарезервированные слова и символы: команды, признаки ('b', '0', , '9'), '-' перед идентификатором, / перед атрибутами, а также символы \*=';', и '#'. Для конкретного прибора они устанавливаются в процессе настройки импорта.

Основные команды используемые при стандартном кодировании приведены в табл. 11.8

Т а б л и ц а 11.8. Основные команды полевого кодирования

№	Команда	Стандартный	Компактный
1.	Начало ломаной	PLN	11
2.	Начало сплайновой кривой	SPL	12
3.	Закончить цепочку	END	13
4.	Замкнуть цепочку	CL	14
5.	Начало дуги по трем точкам <sup>2</sup>	ARC	15
6.	Построить окружность по точке центра и радиальной точке	CIR	16
7.	Построить окружность по двум точкам диаметра	CIR2	17
8.	Построить окружность по трем точкам	CIR3	18
9.	Построить окружность по точке центра и заданному радиусу	CIRRрадиус	19+радиус
10.	Смещение назад/вперед	01±значение	21±значение
11.	Смещение влево/вправо	02±значение	22±значение
12.	Смещение вниз/вверх	03 ±значение	23±значение

#### Пример кодирования

619 ARC #11 Начало цепочки 11 в виде дуги  
 619 Следующая точка дуги  
 619 Следующая точка дуги  
 619 SPL Продолжение цепочки в виде сплайновой кривой  
 619 END Последняя точка объекта  
 PIPE PAR #11 Кривая параллельная цепочке 1 и проходящая через данную точку  
 472 CIRR 142.873 Окружность с заданным радиусом

#### Вопрос 11.3.9. Компактный формат полевого кодирования

В компактном формате в полном объеме кодовая строка имеет вид:

`[-][fff[i]][сс[d[параметр]]]`

где fff – код условного знака,  
 i – идентификатор,  
 сс – команда,  
 d – признак<sup>2</sup>.

Для установки признака 1 в компактном формате используется знак '-' в начале кодовой строки. Использование атрибутов в компактном формате не предусматривается. Распознавание программой введенного компактного кода производится по числу используемых символов, если в строке нет разделителя для параметров, или числу символов до такого разделителя. Примеры возникающих комбинаций приведены в табл. 11.9.

В программе автоматически также действует режим построения линейных объектов в последовательности съемки. Это возможно из-за четкого разграничения в классификаторе CREDO линейных, точечных площадных объектов. Такой подход позволяет выполнять полевое кодирование даже при съемке тахеометром Elta 40 у которого в формате R4 выходного файла только три символа на код. В этом случае, применяя коды из классификатора:

- точечные объекты формируются и отображаются в соответствии с используемым классификатором;
- линейные объекты формируются по точкам с одинаковым кодом в порядке, определяемом порядком съемки.

Таблица 11.9. Примеры команд в компактном формате

Символов	Синтаксис	Описание	Пример	Комментарий
1	d	Признак2	8	Снимаемая точка — нерельефная.
2	сс± параметр	Команда + <b>параметр</b>	22+0.45	Смещение при обработке снимаемой точки вправо на 45см.
3	fff	Код	364	Точечный или линейный объект. <i>Ситуация ссd, т.е. просто линия с признаком принадлежности точки к рельефу, недопустима. Для такой точки обязательно наличие кода.</i>
4	fffi	Код + идентификатор	7451	Линейный объект №1
5	fffid	Код + идентификатор + признак2	31204	Точечный ситуационный объект (отметка не принадлежит поверхности). <i>Наличие идентификатора при задании признака d обязательно!</i>
6	ffficc	Код + идентификатор + команда	745211	Начать линейный объект, второй из одновременно снимаемых. <i>Если идентификатор не нужен, в строке на его место ставится V.</i>
7	-ffficc	Признак1 + код + идентификатор + команда	-745211	Начать линейный объект, второй из одновременно снимаемых. Одновременно по снимаемому объекту формировать структурную линию.

### Вопрос 11.3.10. Системы обработки геодезической информации

В последние двадцать лет развитие электронной техники идет лавинообразно, с проникновением во все сферы жизни общества. Что породило проблему прикладного использования, которую можно рассмотреть и в аспекте автоматизации обработки результатов геодезических вычислений.

На сегодняшний день в странах СНГ распространяется большое количество программных продуктов, предусматривающих обработку геодезических

данных. Их стоимость колеблется от 70 до 6000 USD. Некоторые из них поставляются бесплатно в дополнение к электронным геодезическим приборам.

Можно выделить несколько факторов, обуславливающих развитие автоматизации геодезических и сопутствующих им вычислительных работ.

Во-первых, возникновение и развитие цифровой картографии, и технический прогресс геодезических приборов.

Во-вторых, постепенный переход проектных работ и работ, связанных с эксплуатацией инженерных сооружений, на системы автоматизированного проектирования и геоинформационные системы способствует обмену данными в цифровом виде и в удобных форматах.

В-третьих, перевод информации с аналоговых карт-материалов в цифровой вид приводит к потерям точности. Уточнение и обновление цифровой пространственной информации производится полевыми геодезическими методами.

Все программные продукты, используемые сейчас для обработки геодезических измерений, можно разделить на три больших класса.

Первый класс программ — автономные программы геодезического назначения. Они успешно автоматизируют специфические вычисления в геодезии, довольно просты в освоении и решают только геодезические задачи. Чаще всего такие программы написаны как приложение под AutoCAD. К ним относятся Каллисто ("Корвет"), программа Армит, модернизированная в настоящее время в "Инвент-Град" и "Топоград" (НИИАСС, НПЦ "Геодезкартинформатика" УкрАГП, г.Киев). Таких программ становится все меньше, поскольку они интегрируются в мощные программные комплексы или функционально расширяются, например, под землеустроительные работы. Эти программы просты в освоении. Библиотеки условных знаков, системы координат, картографические проекции и форма выходной документации адаптированы под российские стандарты. Программа "Инвент-Град" и программный комплекс "Сигма" кроме обработки топографических данных формируют отчет по инвентаризации земель.

Ко второму классу относятся геодезические модули программных комплексов. В модуле заложены, как правило, решения стандартных задач, возникающих при обработке геодезических данных: отбраковка грубых измерений, строгое уравнивание, трансформация результатов в различные системы координат, расчет разбивочных элементов. Программные комплексы, содержащие описываемые модули, очень разнообразны, и предназначаются для решения землеустроительных, проектно-изыскательских задач, создания ГИС и др. Геодезический модуль выполняет функции получения координат в нужной системе, построения цифровых моделей местности и рельефа, иногда отрисовку плана, операции с координатами (разбивочные элементы, объемы грунта, длины линий, площади участков и т.д.).

К данному классу программ относятся: Topocad (геодезический модуль является базовым) производства SMT Datatechnik АБ (Швеция) и ЦПГ "Терра-Спейс" (Россия), модуль программы Eagle Point'98 (Eagle Point Software, США), LISCAD (Leica, Швейцария), Zeiss MAP500 -для компьютеров с первичным вводом данных (Carl Zeiss).

Система на базе AutoCAD MAP 2000 (Autodesk, США) — AutoCAD Land Development Desktop — обеспечивает полный цикл проектирования: изыскания, создание 3-х мерной поверхности, проектирование сооружений, в том числе дорог и трубопроводов. Геодезическое приложение Autodesk Survey поддерживает импорт/ экспорт данных из более чем 60 различных типов геодезических инструментов (тахеометры, приемники, электронные накопители информации, текстовые файлы).

Общее у отечественной линейки программных продуктов нескольких разработчиков то, что все они базируются на платформе AutoCAD. Линейка включает программы ТОПОКАД, RTR, CAD RELIEF, ПЛАНИКАД, а также программу RGS (МИИГАиК).

Trimble Survey Office, (Trimble Navigation, США) -не просто программная поддержка приборов Trimble, а мощнейший картографический комплекс, переведенный на русский язык, который обрабатывает данные с GPS-приемников и электронных тахеометров любых производителей. В системе по нажатию одной кнопки отрисовывается ЦММ по кодам. Trimble Geomatics Office — новый и еще более мощный продукт обработки высокоточных геодезических измерений для ГИС и САД-задач. Уравнивание осуществляется по МНК с оценкой точности. Дополнительные возможности при обработке длиннобазисных линий - использование точных эфемерид, точных параметров вращения Земли, коррекция за изменение наклона оси вращения Земли от лунно-солнечных приливов и подключение моделей приливов в твердом теле Земли. ПО поставляется вместе с приборами Trimble.

Третий класс программ включает встроенное программное обеспечение (ПО) электронного геодезического оборудования - тахеометров, GPS-приемников. Электронное оборудование всегда имеет некоторое минимальное обеспечение для внутренней обработки результатов измерений, т.е. получения координат в указанной пользователем системе. Таким минимальным ПО оснащены тахеометры Nikon, Topcon. Кроме того, по желанию заказчика тахеометр может быть дополнен программами для уравнивательных вычислений, создания ЦММ, расчета разбивочных элементов, объемов, площадей или узкоспециализированными приложениями (например, для обработки астрономических данных). Такими программами дополняются тахеометры УОМЗ, Zeiss, Leica, Spectra Precision, Sokkia, GPS-приемники. Фирмы Leica, Zeiss и Trimble Navigation значительно расширили ПО возможностями проектирования линейных объектов и собственным языком программирования (LISCAD).

### **Вопрос 11.3.11. Программный комплекс Кредо**

Широко применяется для обработки геодезических измерений программный комплекс CREDO. Он состоит из нескольких унифицированных программ, которые работают с единым набором данных, обеспечивая непрерывность процесса обработки изысканий и проектирования на основе современных эффективных технологий.

Комплекс программ CREDO позволяет:

– собирать и обрабатывать топографо-геодезическую информацию полученную разными методами, различными типами электронных и оптических

геодезических приборов (включая сканирование существующих картматериалов и использование данных из других систем);

- формировать цифровые модели местности (ЦММ) инженерного назначения и предоставлять их для дальнейшего использования в "бумажном" виде (планшеты или листы) и "электронном" (различные выходные форматы);

- создавать объемную геологическую модель местности на основе методики, позволяющей одновременно строить и корректировать несколько вертикальных инженерно-геологических разрезов произвольной Топологии;

- проектировать и "вести" с использованием ЦММ генпланы: детальной планировки, коммуникаций, красных линий, разбивочные и т.д;

- проектировать вертикальную планировку и рассчитывать объемы насыпи и выемки объектов промышленного и гражданского строительства;

- проектировать транспортные объекты любой сложности;

- экспортировать данные по запроектированным в плане линейным сооружениям в другие САД-системы;

- выполнять полный комплекс проектно - изыскательских работ для проектирования загородных автомобильных дорог II - V категорий.

Комплекс обеспечивает связь с другими системами с помощью файлов DXF формата, что позволяет эффективно вписывать модули CREDO в уже сложившиеся технологические цепочки.

В комплексе КРЕДО можно выделить блок систем для обработки материалов инженерно-геодезических изысканий. В него входят программы для геодезистов, которые решают задачи от первоначальной обработки данных, до конечной цели – получения цифровой модели местности инженерного назначения и дальнейшего проектирования генерального плана.

Камеральная обработка геодезических измерений и результатов постобработки спутниковых измерений разных классов точности выполняются в КРЕДО ДАТ. В программу импортируются данные с любых электронных тахеометров, которые сейчас есть на рынке геодезического оборудования. Предусмотрена обработка данных тахеометрической съемки с формированием точечных, линейных и площадных топографических объектов и их атрибутов при использовании полевого кодирования. Доступно создание собственной (пользовательской) системы полевого кодирования, что позволяет специалисту оптимизировать рабочий процесс. Программа позволяет выполнить совместное или раздельное уравнивание векторов спутниковых измерений и традиционных измерений в линейно-угловых и высотных геодезических сетях разных форм, классов и методов создания. На определенном этапе работы в программе можно выполнить поиск ошибок измерений, а также, если необходимо, решить ряд других инженерно-геодезических задач. Результатом работы в программе являются отчетные ведомости и чертежи, а также электронные файлы распространенных форматов.

Обработка сырых спутниковых геодезических измерений доступна в программе КРЕДО ГНСС. Данные можно загружать в форматах спутниковых геодезических приемников, а также в формате RINEX. Можно обрабатывать базовые линии с использованием данных наблюдений систем спутникового позиционирования ГЛОНАСС, GPS, Бэйдоу, Галилео, в режимах «статика»,

«кинематики» и «Stop&Go». Есть возможность выполнить расчет по спутникам ГЛОНАСС без других систем позиционирования, рассчитать параметры проекции для неизвестной системы координат при наличии измерений ГНСС на точках с известными координатами, выполнить уравнивание спутниковой геодезической сети, а также решить множество других задач. В программе удобно работать с графическими данными, растровыми и WEB-изображениями, реализована возможность создания поверхности, которую можно использовать для оценки качества выполненных работ, а также для создания небольших топографических планов. Итогом работ могут быть ведомости и каталоги соответствующего вида, а также электронные файлы самых востребованных форматов.

Измерения, полученные по результатам геометрического нивелирования I–IV классов, технического и высокоточного инженерного нивелирования, выполняемого оптическими и цифровыми нивелирами, обрабатываются в программе НИВЕЛИР. Преимущество программы в том, что она может принимать данные в электронном формате цифровых нивелиров, а также во всех популярных форматах текстовых файлов. В программе можно быстро сформировать полученные данные по ходам и секциям, выполнить предварительную обработку, выполнить поиск ошибок, учесть необходимые поправки, а также выполнить уравнивание. На каждом этапе работы инженер получает отчет, по которому можно контролировать каждый из процессов. Формирование и настройка выходных документов выполняется согласно национальным стандартам или стандартам предприятия. Данные могут быть сформированы в электронном виде для дальнейшей работы в других программных продуктах КРЕДО.

Данные, полученные из систем мобильного лазерного сканирования, воздушных лазерных сканеров в виде облака точек, можно загрузить в программу КРЕДО 3D СКАН. В программе можно выбрать формат отображения облака точек – в трехмерном виде (3D) и на плоскости в формате 2D. Параллельно можно загрузить и совместно использовать с облаком точек фотоизображения с геопространственной привязкой в формате KML, что облегчит распознавание сложных объектов ситуации и позволит создавать по ним точечные и линейные топографические объекты в трехмерном виде или на плоскости. Доступна фильтрация «шума» в облаке точек по заданным параметрам, а также адаптивное прореживание облака точек и построение цифровой модели рельефа. Можно выделить рельеф и области с заданными параметрами уклона. На финальном этапе работы в программе можно создавать и редактировать топографические объекты для подготовки топографических планов при выполнении небольших проектов. Экспорт данных реализован в удобных форматах для последующего создания ЦММ инженерного назначения.

Если необходимо быстро выполнить пересчет из одной системы координат в другую, привести координаты пунктов в единую систему, установить параметры связи СК, определить ключи местной системы координат, восстановить (установить) строительную систему координат объекта в том случае, когда строительные реперы (или пункты закрепления строительной сети) были утрачены, – решить эти и другие задачи можно в программе ТРАНСКОР. Система позволяет подготовить и выпустить все необходимые ведомости, а

также сформировать электронные файлы с данными. Следует отметить что в программах КРЕДО ДАТ и КРЕДО ГНСС есть свои расчетные модули по преобразованию координат. В КРЕДО ДАТ можно выполнить преобразование пунктов из одной системы в другую по следующим методам: смещение по координатным осям и по высоте; аффинное преобразование; преобразование по Хельмерту; прямоугольные координаты в геодезические. В программе КРЕДО ГНСС при работе в местной системе координат, параметры которой неизвестны, есть возможность рассчитать параметры проекции для этой системы координат.

Обработка картографического материала, аэрофотоснимков, космических снимков выполняется в программе ТРАНСФОРМ. Можно импортировать растровые файлы различных форматов, а также использовать сервисы Google Maps, Bing, Экспресс Космоснимки. При работе в программе можно сохранить выбранную область просматриваемого WEB-изображения Google Maps в файл с одновременной загрузкой его в программу в пользовательской системе координат. Кроме этого, в программе возможен выбор систем координат, задание координат опорных точек, привязка растрового изображения, сшивка, трансформация по опорным точкам. Также можно автоматически распознавать и задавать генерацию опорных точек в местах расположения крестов координатной сетки на планшетах в соответствии с выбранным масштабом и размером планшета, а затем выполнить в программе контроль созданных опорных точек, назначить контрольные точки. Можно выполнять привязку топографических карт по четырем углам с указанием номенклатуры листов. В программе реализована возможность ортокоррекции одиночных космических снимков с использованием матрицы высот. Результатом работы в программе является электронная растровая подложка в файлах различных форматов. Привязанный в ТРАНСФОРМ растр можно подгружать в качестве подложки в другие программы комплекса.

Программа КРЕДО ВЕКТОРИЗАТОР является самостоятельным программным продуктом, который позволяет выполнить векторизацию растровых крупномасштабных топографических планов и создать цифровую модель местности на их основе. Векторизация топографических планов выполняется автоматически (распознавание отметок, распознавание точечных тематических объектов), полуавтоматически (распознавание горизонталей и линейных тематических объектов), а также вручную (создание точек и тематических объектов, редактирование объектов). Все тематические объекты отображаются объектами классификатора, который поставляется вместе с программой. При необходимости можно воспользоваться инструментом *простой Векторизатор*, который позволяет в автоматическом режиме преобразовать черно-белый растр в набор полилиний. Также есть отдельная команда, которая отвечает за распознавание текстов на растровом изображении.

Доступна возможность подготовки чертежей, которые можно выпустить сразу на печать или сохранить в нужном электронном формате.

Из программы можно выполнить передачу данных в программы на платформе КРЕДО III, а также в форматы DXF, MIF/MID.

Функциональные возможности программы КРЕДО ВЕКТОРИЗАТОР позволяют инженеру значительно сэкономить свое время, в 2-3 раза быстрее векторизировать растровые изображения и получать желаемый результат.

Базовым программным продуктом для создания цифровой модели местности инженерного назначения является КРЕДО ТОПОПЛАН.

Функциональные возможности программы позволяют быстро и качественно создать цифровую модель ситуации, цифровую модель рельефа, используя готовую библиотеку данных линий и штриховок, стилей отображения поверхностей, размеров, объектов тематического классификатора, шаблонов чертежей, ведомостей и т.д. При создании цифровой модели ситуации доступен большой выбор функций по созданию точечных, линейных и площадных топографических объектов, которые создаются на базе классификатора программы. В системе доступно выделение характерных участков рельефа структурными линиями (хребты, обрывы, границы болот, землеучастков и т.д.), а также моделирование вертикальных поверхностей (бордюров, набережных, подпорных стенок и т.п.) с помощью структурных линий с двойным профилем, построение разрезов произвольного сечения для анализа созданной модели рельефа. Оформление модели рельефа выполняется с использованием готовых стилей, все стили соответствуют принятым нормативным требованиям. В программе можно подготовить все необходимые выходные документы – чертежи, планшеты, ведомости в соответствии с нормативными требованиями.

Также существуют и узкоспециализированные программы для выполнения топографо-геодезических изысканий например КРЕДО ЛИНЕЙНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ. КРЕДО ТРУБОПРОВОД.ИЗЫСКАНИЯ. они включают в себя все функциональные возможности программы КРЕДО ТОПОПЛАН. В системе доступно моделирование и просмотр профилей линейных тематических объектов, в том числе подземных и наземных коммуникаций.

Говоря о создании ЦММ, отдельно можно выделить программу КРЕДО ТОПОГРАФ. Программа позволяет обработать данные полевых геодезических измерений и на основе этих данных создать цифровую модель местности. Больше всего эта система подойдет тем специалистам, кто привык делать работу быстро и качественно сразу на объекте. В программу можно загрузить данные с электронного тахеометра, выполнить полную обработку геодезических данных (предобработка, поиск ошибок измерений, уравнивание), а затем приступить к созданию цифровой модели местности. Для удобства создания ЦММ реализованы универсальные команды, в которых сгруппированы различные методы создания и редактирования объектов, что позволяет в одном построении создать (или изменить) сразу несколько элементов цифровой модели: линейные разного назначения, точечные в узлах линии, а если линия замкнута – то и площадные объекты, и регионы. В процессе построений можно определить отметки точечных и профили линейных объектов, добавить семантическое описание и создать необходимые подписи, а в некоторых случаях и перестроить поверхность. В программе реализована работа в различных системах координат и возможность преобразования данных из одной системы в другую. В программе можно подготовить все необходимые выходные документы – чертежи, планшеты, ведомости в соответствии с нормативными требованиями, а также электронные файлы необходимых форматов.

Экспорт цифровых моделей рельефа, ситуации и проектных решений, выполненных в системах КРЕДО III, реализован в файлы форматов DXF (AutoCAD), MIF/MID (MapInfo), TXF/SXF (Панорама). При этом передается информация об отметках точек, о точечных, линейных и площадных тематических объектах. Можно создавать и растровые изображения отдельных фрагментов плана.

Каждая система комплекса CREDO участвует в едином технологическом процессе, являясь в то же время самостоятельным программным модулем, и может эксплуатироваться отдельно. Модульный подход к программному обеспечению позволяет формировать оптимальные технологические системы разного назначения - для специализированных геодезических предприятий, исследовательских подразделений проектных фирм, крупных и мелких проектных организаций, учебных заведений и т.д.

### Вопрос 11.3.12. Технология построения топографических планов в Credo

Рассмотрим технологию работы в Credo при обработке материалов тахеометрической съемки в общем случае (рис 11.39).

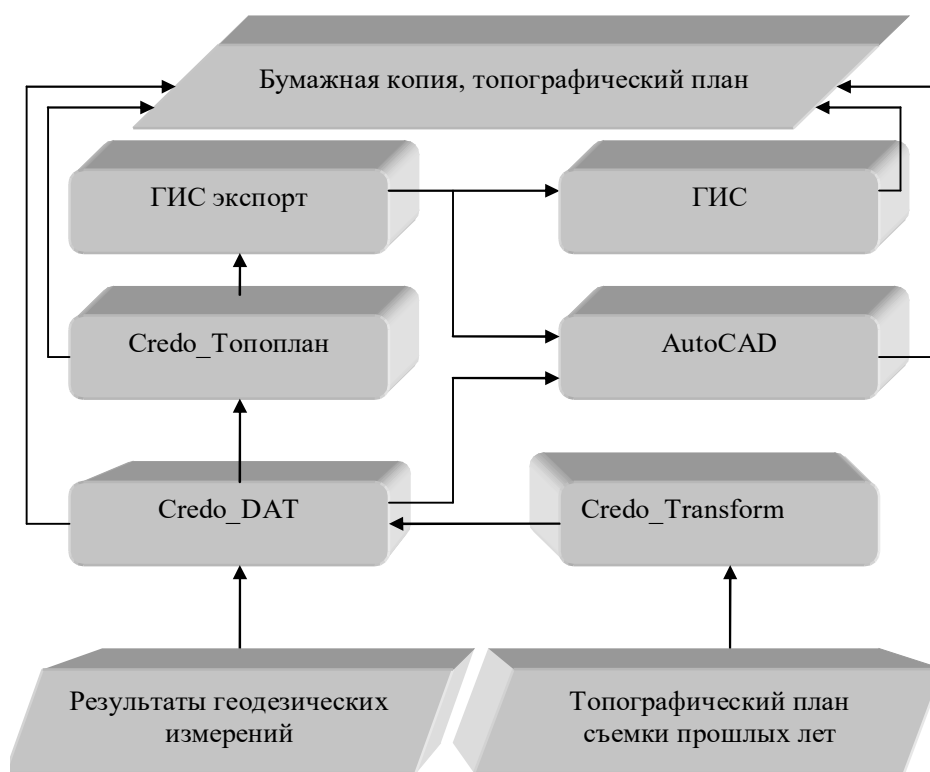


Рис 11.39. Схема обработки материалов топосъемки в ПК КРЕДО

На снимаемую территорию или ее часть уже существует топографический план нужного масштаба, но требует корректировки. В этом случае имеющийся планово-картографический сканируют. Затем в программе CREDO

Трансформ выполняется сшивка фрагментов и привязка их к системе координат. Для каждого фрагмента можно указать зоны видимости. Зоны видимости определяют участки которые отобразятся в окне плана.

Выполняется съемка местности традиционная или с использованием электронных тахеометров с полевым кодированием. В программе постобработки CREDO\_DAT производится настройка проекта, единиц измерения, допусков, планшетной сетки, подключается растровая подложка, вводятся координаты исходных пунктов. Результаты измерений с полевых журналов или регистраторов вводят в программу. В первом случае информацию вводят в специальные таблицы, во втором с помощью специального программного обеспечения закачивают данные или на диск ПЭВМ или непосредственно в саму программу постобработки.

Выполняется предварительная обработка измерений. Целью которой является получение предварительных координат для уравнивания построения параметрическим способом.

Затем производится анализ сети съемочного обоснования на грубые ошибки, для этих целей используется ЛР-метрики или анализ цепочкой для теодолитных ходов. В случае обнаружения грубой ошибки необходимо ее исправить, повторно выполнить предварительную обработку и анализ.

Выполняется уравнивание сети. Далее вводятся измерения на пикетные точки. Формируются контуры площадных и линейных объектов, заполняется семантика.

Затем результаты обработки из Credo\_DAT могут быть экспортированы в AutoCad или продолжена обработка в Топоплане. В Топоплане формируются контура объектов по результатам съемки методами, створов, перпендикуляров, линейных засечек, а также строятся горизонталы.

Топоплан сам не может экспортировать данные в САПР или ГИС, для этих целей используется программа ГИС-экспорт.

На любом этапе обработки возможно получение бумажной копии топографического плана.