

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

**КОНТРОЛЬНЫЙ
ЭКЗЕМПЛЯР**

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

КАФЕДРА ГЕОТЕХНИКИ И ТРАНСПОРТНЫХ КОММУНИКАЦИЙ

Инженерная геодезия

«Топографические съёмки. Решение задач по топографическим картам и планам»

пособие для студентов 1-2 курсов
инженерных специальностей

УДК 528.48 (076.5)

ББК 26.1я73

3 38

Рецензенты:

О.П. Борисович, зав. группой геодезии отдела инженерных изысканий ОАО «Брестпроект»;

Л.А. Черкас, к.т.н., доцент, заместитель декана инженерно-строительного факультета
Гродненского государственного университета им. Я. Купалы

Зуева Л.Ф., Кандыбо С.Н.

338 Инженерная геодезия. «Топографические съёмки. Решение задач по топографическим картам и планам»: пособие для студентов 1-2 курсов инженерных специальностей. – Брест: Издательство БрГТУ, 2015. – 56 с.

ISBN 978-985-493-342-9

П пособие предназначено для изучения теоретического материала по теме «Топографические съёмки» и выполнения лабораторных работ, связанных с решением задач по топографическим картам и планам студентами 1-2 курса инженерных специальностей. Рассмотрены методы топографических съёмок, особенности составления и оформления топографических карт и планов, даны пояснения к решению задач с использованием топографических карт и планов на лабораторных занятиях и при подготовке к зачету и экзамену.

УДК 528.48 (076.5)

ББК 26.1я73

ISBN 978-985-493-342-9

© Издательство БрГТУ, 2015

1. Топографические съемки

1.1. Назначение и методы топографических съёмок

Топографическая съемка – это комплекс полевых и камеральных работ, выполняемых с целью получения съёмочного оригинала топографических карт или планов местности, а также получение топографической информации в цифровой форме [7].

Съемку местности выполняют одним из следующих методов:

- теодолитная (плановая);
- тахеометрическая (планово-высотная);
- нивелирование поверхности (по квадратам, по характерным линиям);
- мензульная;
- аэрофототопографическая и космическая;
- наземная фототопографическая (фототеодолитная);
- лазерное сканирование;
- съемка с применением спутниковых геодезических приемников.

Инженерно-топографические планы в виде цифровых моделей местности (ЦММ) используют при проектировании объектов строительства.

Выбор масштаба топографической съемки и высоты сечения рельефа зависит от характеристики территории, рельефа местности и вида проектируемого сооружения. Масштаб съемки и высота сечения устанавливаются в соответствии с СНБ 1.02.01–96 [3].

Таблица 1.1 – Масштаб съемки и высота сечения рельефа

Характеристика участка съемки, сооружения	Масштаб съемки	Высота сечения рельефа h , м
1. Территория с капитальной застройкой с подземными и надземными сооружениями	1:500	0,5
2. Незастроенная или малозастроенная с одноэтажной застройкой с незначительным количеством подземных сооружений	1:5000 – 1:1000	2; 1; 0,5
3. Территория новых микрорайонов, кварталов и групп зданий	1:1000; 1:500	0,5
4. Трассы линейных сооружений на застроенных территориях	1:2000 – 1:500	1; 0,5
5. Трассы линейных сооружений на незастроенных территориях	1:5000 – 1:2000	2; 1; 0,5

1.2. Создание планово-высотного съёмочного обоснования

Геодезическое съёмочное обоснование делят на плановое и высотное. *Плановое* съёмочное обоснование создают различными геометрическими построениями (триангуляция, полигонометрия, теодолитные ходы), в которых измеряются углы и длины линий. Наиболее распространено проложение одиночных *полигонометрических или теодолитных ходов* или системы ходов. Съёмочное обоснование развивается от пунктов государственных геодезических сетей и сетей сгущения. Ориентирование сетей производится по истинному или магнитному азимуту.

Высотное съёмочное обоснование совмещается с пунктами планового обоснования. Отметки пунктов определяют методом геометрического нивелирования или тригонометрического нивелирования.

Допустимые погрешности координат пунктов съёмочного обоснования зависят от масштаба съемки и не должны превышать величин, приведенных в табл. 1.2.

Предельные погрешности во взаимном положении на плане закоординированных точек и углов капитальных зданий (строений), расположенных один от другого на расстоянии до 50 м, не должны превышать 0,4 мм на плане.

Средние погрешности съемки рельефа и его изображения относительно пунктов съёмочного обоснования не должны превышать от принятой высоты сечения рельефа:

- $1/4 h$ – при углах наклона до 2° ;
- $1/3 h$ – при углах наклона от 2 до 6° для планов в масштабах 1:5000 и 1:2000 и до 10° для планов 1:1000 и 1:500;
- $1/3 h$ при высоте сечения рельефа 0,5 м для планов в масштабах 1:5000 и 1:2000.

Для залесённых (закрытых) участков местности указанные допуски увеличивают в 1,5 раза.

Таблица 1.2 – Точность съёмочного обоснования

Масштаб съёмки	Допустимые погрешности определения координат пунктов съёмочного обоснования, м	
	на застроенной территории	на незастроенной территории
1: 500	0,1	–
1: 1000	0,2	0,3
1: 2000	0,4	0,6
1: 5000	1,0	1,5

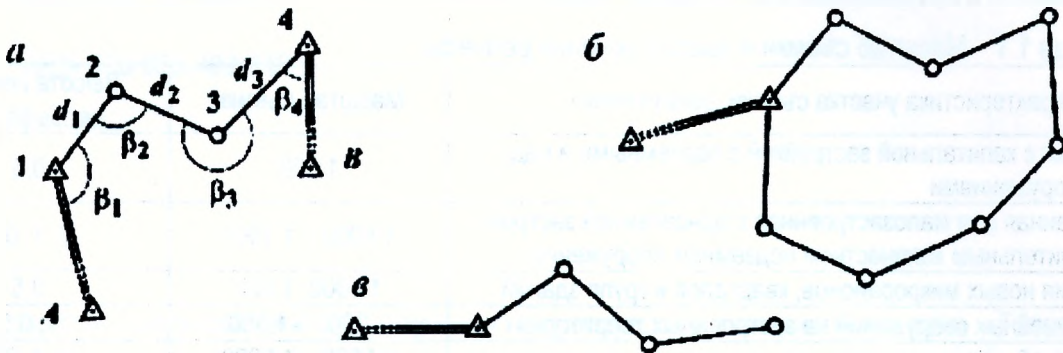
Теодолитные ходы представляют собой геометрические построения в виде ломаных линий, в которых углы измеряются теодолитом одним полным приёмом, а стороны – мерными приборами, обеспечивающими заданную точность.

Теодолитные ходы, как правило, прокладывают между исходными пунктами государственной геодезической сети (триангуляции, полигонометрии). Форма хода зависит от характера снимаемой территории, ход может быть замкнутым, разомкнутым, висячим.

Замкнутый теодолитный ход начинается с одной точки с известными координатами и заканчивается на той же точке.

Разомкнутый теодолитный ход начинается на одной точке с известными координатами, а заканчивается на другой точке с известными координатами.

Висячий теодолитный ход начинается с одной точки с известными координатами и заканчивается произвольно. Висячие ходы бесконтрольны и поэтому допускаются только в исключительных случаях для определения координат 2-3 точек в труднодоступных местах.



а) разомкнутый; б) система ходов; в) «висячий» ход
Рисунок 1.1 – Схемы теодолитных ходов

При проложении теодолитных ходов следует руководствоваться следующими требованиями:

- точки теодолитного хода должны равномерно покрывать весь участок и располагаться в местах, удобных для выполнения геодезических измерений;
- длины сторон хода не должны превышать 350 м и быть короче 40 м в незастроенной части участка и 20 м в застроенной части;
- между смежными точками хода должна быть прямая видимость для измерения углов и благоприятные условия для измерения длин сторон;
- местоположение точек хода должно быть выбрано так, чтобы обеспечить их сохранность на весь период съёмки;
- длины ходов (в км) для различных масштабов не должны превышать предельных значений, указанных в табл. 1.3

Таблица 1.3 – Длины теодолитных ходов

Масштаб съёмки	1:5000	1:2000	1:1000	1:500
На застроенных территориях	4	2	1,2	0,8
На незастроенных территориях	6	3	1,8	–

После выбора местоположения точки теодолитного хода закрепляются на местности. Закрепление, как правило, осуществляется временными знаками. Наиболее часто используют металлические штыри, трубки и деревянные колышки, вбиваемые вровень с землёй. Для облегчения поиска рядом с точкой закрепляют сторожок – деревянный кол, выступающий над поверхностью земли до 20-30 см. На сторожке подписывают название точки.

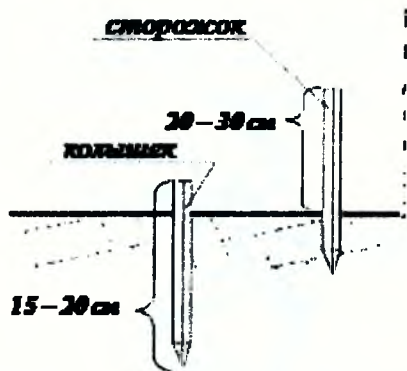


Рисунок 1.2 – Закрепление точек теодолитного хода временными знаками

Измерение горизонтальных углов хода производят теодолитами 30" точности одним полным приёмом. Если угол наклона превышает $1,5^\circ$, то вводится поправка за наклон линии к горизонту, в этом случае необходимо также измерять углы наклона.

Измерение длин сторон осуществляется землемерными лентами, стальными рулетками или лазерными рулетками в прямом и обратном направлениях. Расхождения между расстояниями в прямом и обратном направлениях не должны превышать 1:2000 измеряемого расстояния, а при неблагоприятных условиях измерений (пашня, болото, кочковатая поверхность и т.п.) – 1:1000.

Съёмочное обоснование в виде отдельных ходов или системы ходов, созданное с помощью электронного тахеометра, по точности соответствует разрядной полигонометрии.

Таким образом, съёмочное обоснование строится в развитие опорной геодезической сети или в качестве самостоятельной геодезической основы и может состоять из полигонометрических, теодолитных ходов или заменяющей их триангуляции или трилатерации, прямых, обратных и комбинированных засечек, высотное обоснование в виде ходов геометрического или тригонометрического нивелирования.

1.3. Теодолитная съёмка

В результате теодолитной съёмки получают контурный план местности, т.е. план с нанесённой на нём ситуацией. *Ситуацией* называется совокупность объектов местности (здания и сооружения, элементы благоустройства, ситуация проездов, подземные и надземные инженерные сети, контура растительности и т.п.).

Для выполнения съёмки используют теодолит и мерные приборы либо электронный тахеометр. Съёмка ситуации заключается в производстве на местности линейных и угловых измерений, которыми характерные точки ситуации привязывают к точкам и линиям съёмочного обоснования (теодолитного хода). Под характерными точками ситуации понимаются все изгибы построек, ограды, изгороди, столбы ЛЭП, дороги, границы угодий и т.д. Различают следующие способы съёмки ситуации (рис. 1.3):

1. Способ прямоугольных координат (перпендикуляров). При съёмке данным способом за ось абсцисс (X) принимается направление линии теодолитного хода, а за ось ординат (Y) – линия, перпендикулярная к стороне теодолитного хода, проходящая через снимаемую точку. Мерным прибором измеряются отрезки X и Y. Точность линейных измерений зависит от масштаба съёмки.

Частный случай, когда точка ситуации попадает непосредственно в створ линии, называют **створно-линейным способом**.

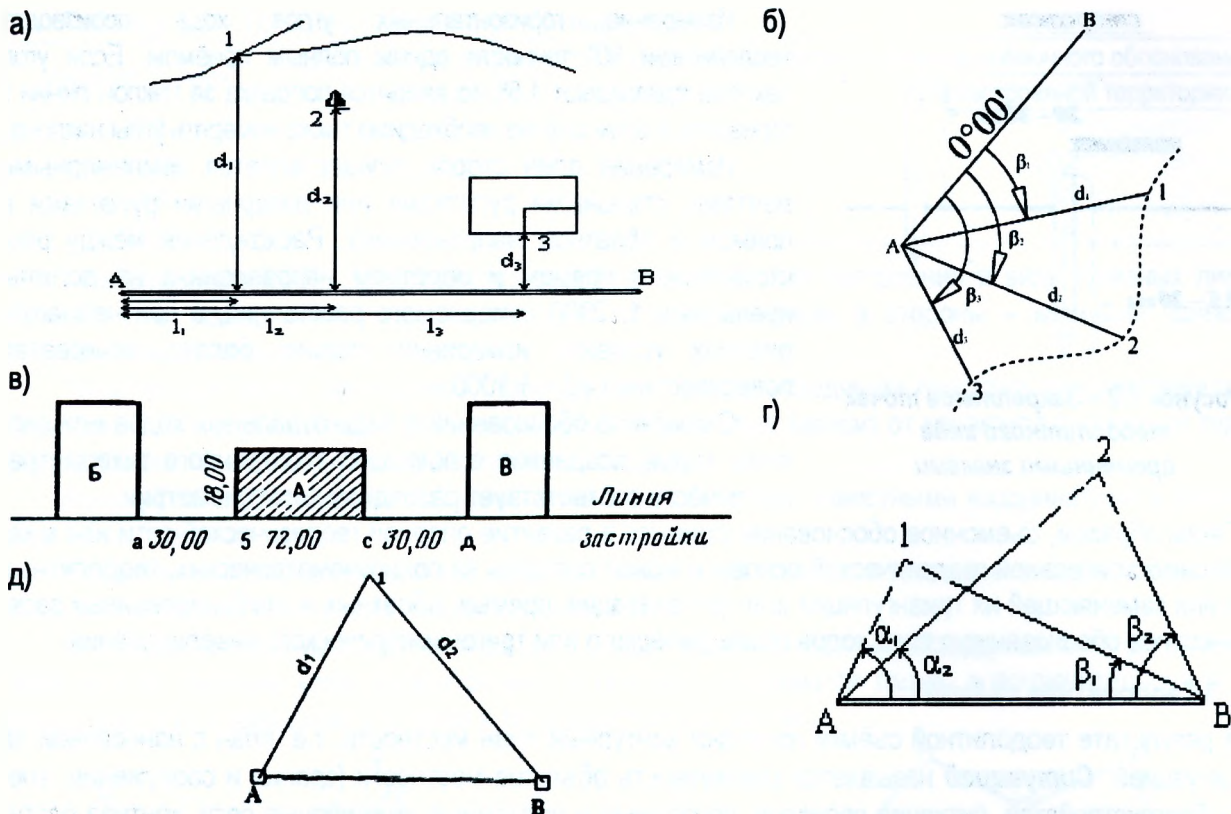
Длина перпендикуляра не должна превышать 8, 6 и 4 м соответственно для съёмок в масштабах 1:2000, 1:1000 и 1:500. При использовании экера или теодолита эти расстояния могут быть увеличены до 60, 40 и 20 м.

Расстояния между створными точками не должно превышать 80, 60 и 40 м соответственно при съёмках в масштабах 1:2000, 1:1000 и 1:500, если линии измеряют рулеткой или лентой. При использовании светодальномера эти расстояния могут быть увеличены в 1,5 раза.

2. Способ полярных координат. За полярную ось принимают сторону теодолитного хода, а за полюс – точку теодолитного хода. Положение характерной точки ситуации определяется полярным горизонтальным углом и полярным расстоянием.

3. Способ угловых засечек. В этом способе теодолит устанавливается последовательно на пунктах съёмочного обоснования А и В и измеряются горизонтальные углы между стороной АВ и направлением на предмет. Угол φ при засекаемой точке не должен быть менее 30° и более 150° . Расстояние до нее не должно превышать 400, 200 и 100 м при съёмке четких контуров в масштабах 1:2000, 1:1000 и 1:500.

4. Способ линейных засечек. В этом способе измеряют расстояния (d_1 и d_2) от двух точек планового обоснования до точки ситуации. Наиболее благоприятным в смысле точности съёмки считается засечка равными расстояниями.



а) прямоугольных координат; б) полярный; в) створно-линейный; г) угловой засечки; д) линейной засечки
Рисунок 1.3 – Способы съёмки ситуации

Результаты измерений при съёмке ситуации заносят в абрис.

Абрис – схематический чертёж, на котором показаны контуры местности, элементы ситуации и приведены результаты измерений при съёмке. На абрисе показывают пункты геодезической основы, вершины и стороны теодолитных ходов, контуры угодий и все местные предметы, наименование угодий, географические названия, наименование сооружений и т.п. Абрис ведётся на плотной бумаге карандашом в действующих условных знаках. Перерисовка абриса запрещается.

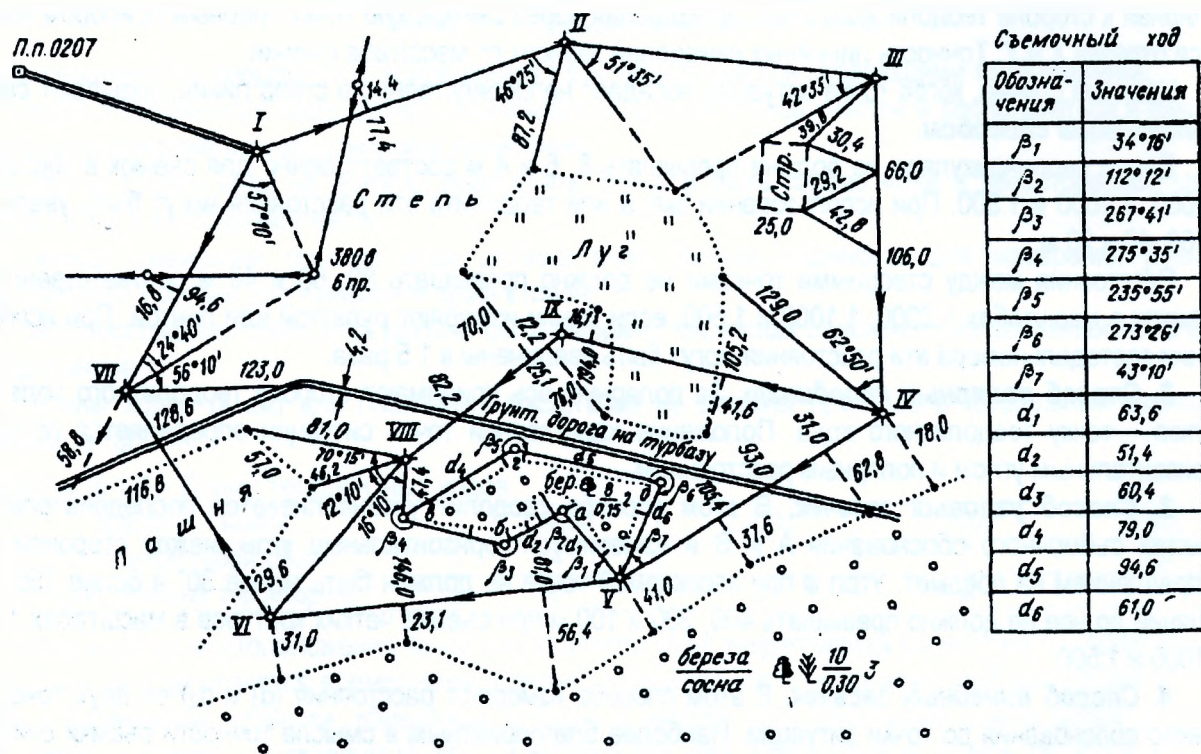


Рисунок 1.4 – Абрис теодолитной съёмки

При теодолитной съемке также проводят обмеры капитальных строений и записывают результаты в абрис. Для контроля и повышения точности съемки рекомендуется измерять расстояния между углами соседних зданий и строений (рис. 1.5)

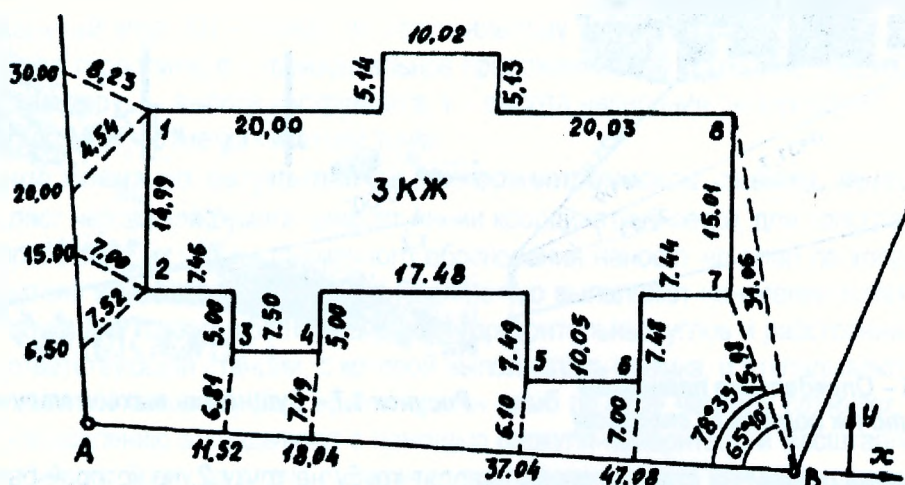


Рисунок 1.5 – Абрис с результатами контрольных обмеров здания

1.4. Тахеометрическая съемка

Тахеометрическая съемка является самым распространенным методом наземных топографических съемок. Её высокая производительность обеспечивается тем, что все измерения, необходимые для определения пространственных координат (X, Y, H) характерных точек местности, выполняют с использованием одного геодезического прибора – теодолита либо тахеометра.

При выполнении тахеометрической съемки наиболее часто используют следующие приборы: оптические теодолиты Т30, Т15, Т5 и их последующие модификации; тахеометры (номограммные, внутрибазовые, электронные).

Плановым съёмочным обоснованием тахеометрических съемок могут служить: замкнутый, разомкнутый теодолитный или полигонометрический ход, системы ходов, а также висячий ход не более 2-3 точек. Ориентирование сетей съёмочного обоснования и определение координат точек осуществляют привязкой к пунктам государственной геодезической сети. Точки съёмочного обоснования размещают на возвышенных местах с хорошо обеспеченной видимостью. Расстояние между точками не должно быть более 350 м и менее 50 м. После создания на местности съёмочного обоснования приступают к съемке рельефа и ситуации местности. Рейки поочередно устанавливают в характерных точках рельефа и ситуации.

Реечные точки (пикеты) не закрепляют, а рейку устанавливают непосредственно на землю. Пикеты по возможности размещают равномерно по снимаемой площади таким образом, чтобы расстояния между пикетами были в среднем 25 м и 35 м соответственно для съёмки в масштабах 1:500 и 1:1000.

Порядок работы на станции тахеометрической съёмки

Плановое положение точек на местности определяют полярным способом (рис. 1.6), а высотное – тригонометрическим нивелированием. Точки съёмочного обоснования при выполнении съёмки используют как станции.

1. Теодолит устанавливают над точкой съёмочного обоснования (т.1), центрируют, приводят в рабочее положение и измеряют высоту инструмента с помощью нивелирной рейки с округлением до 1 см. Перед началом съёмочных работ определяют место нуля вертикального круга теодолита.

2. Рабочее положение теодолита «круг лево» (КЛ). Ориентируют лимб по стороне 1-2 съёмочного обоснования, для чего нуль алидады совмещают с нулём лимба, закрепляют алидаду и, вращением лимба вместе с алидадой, наводят трубу на точку 2. Закрепив лимб и открепив алидаду, наводят трубу на рейку, устанавливаемую поочередно на реечные точки (пикеты).

3. Измерения: берут отсчёты по средней нити (высота наведения) и по дальномерным нитям (для определения расстояния от станции до пикета), по горизонтальному и вертикальному кругам. Результаты полевых измерений заносят в журнал (табл. 1.4). В качестве пикетов могут быть элементы ситуации и рельефа.

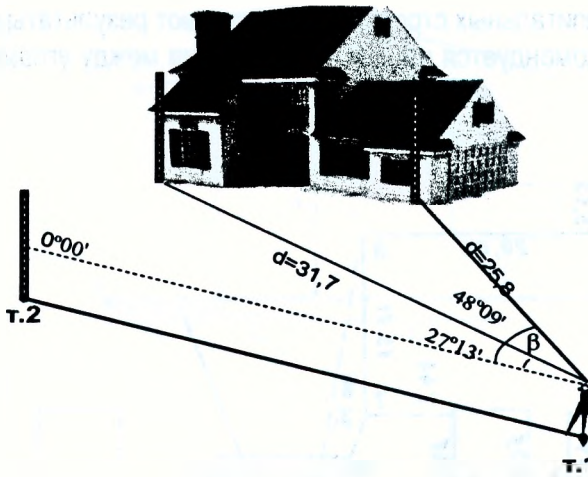


Рисунок 1.6 – Определение планового положения точек полярным способом

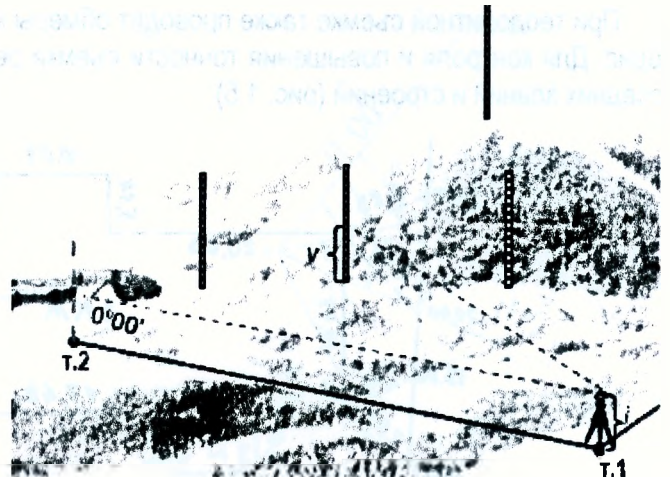


Рисунок 1.7 – Сущность тахеометрической съёмки

4. По окончании съёмки на станции снова наводят трубу на точку 2, по которой был ориентирован лимб, и берут контрольный отсчёт, который не должен отличаться от 0° более чем на $5'$.

Для контроля качества съёмки с каждой станции определяют 2-3 контрольные точки в полосе перекрытия съёмки со смежных станций.

На станции в процессе измерений составляют схематический чертёж (абрис), на котором зарисовывают элементы ситуации и показывают пикетные точки. В процессе измерения полярных углов и расстояний на абрисе проставляются номера пикетов.

При съёмке рельефа особое внимание уделяется выбору местоположения пикетных точек. На холме пикеты располагают на вершине и вдоль подошвы; в котловине – на дне и по бровкам; на хребте и лощине – по линиям водораздела и водослива (рис. 1.7) Кроме этого, пикеты должны ограничивать (разделять на участки) скаты с равномерными уклонами.

На абрисе обязательно показывают стрелками направления равномерного ската (понижение рельефа), что при составлении топографического плана в камеральных условиях позволяет качественно построить рельеф горизонталями (рис. 1.8).

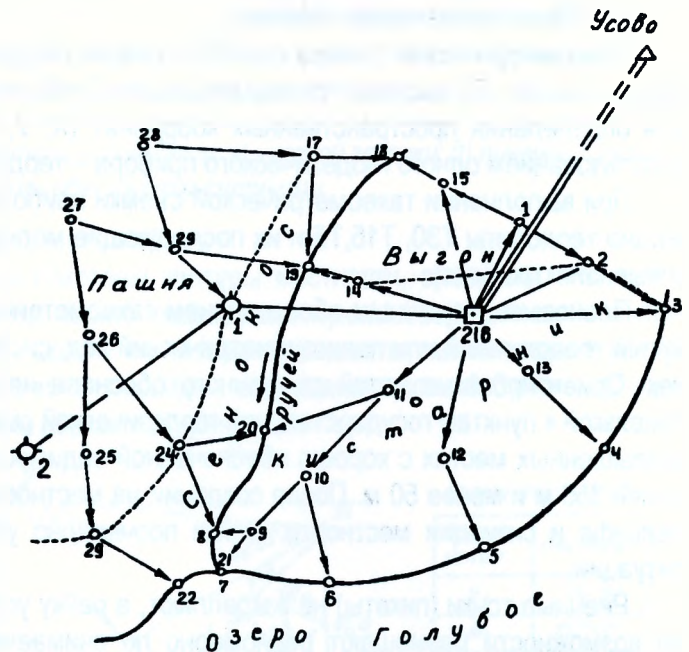


Рисунок 1.8 – Абрис тахеометрической съёмки

Таблица 1.4 – Журнал тахеометрической съёмки

Станция 1 $l = 1,45 \text{ м}$ $H_{см.} = 142,25 \text{ м}$ $MO = -0^\circ 04'$

$KП = 7^\circ 10'$

Горизонтальный круг ориентирован на точку 2 ($0^\circ 00'$)

$KП = -7^\circ 18'$

№№ реечных точек	Высота наведения V	Дальномерное расстояние D	Отсчеты		Угол наклона ν	Горизонтальное проложение d , м	Неполное превышение h' , м	$i - V$, м	Превышение h , м	Отметка $H_{пик.}$, м
			горизонтальн. круг	вертикальн. круг						
8	1,00	28,5	$36^\circ 05'$	$2^\circ 24'$	$2^\circ 28'$	28,45	1,23	0,45	1,68	143,93
9	1,45	48,1	$89^\circ 21'$	$-1^\circ 24'$	$-1^\circ 20'$	48,07	-1,12	0	-1,12	141,13

Обработку результатов выполняют в журнале (табл.1.3), используя формулы:

$$v = \text{КЛ} - \text{МО}; \quad d = D \cdot \cos^2 v; \quad h' = \frac{D}{2} \cdot \sin(2v); \quad h = h' + i - v; \quad H = H_{\text{СТ}} + h,$$

где v – вертикальный угол; КЛ – отсчёт по вертикальному кругу теодолита при КЛ; МО – место нуля вертикального круга теодолита; d – горизонтальное проложение; D – наклонное расстояние, измеренное по нитяному дальномеру; i – высота инструмента; v – высота наведения (визирования); h – превышение; $H_{\text{СТ}}$ – отметка станции; H – отметка пикетной точки.

Построение плана по результатам тахеометрической съёмки, выполненной теодолитом. На лист чертёжной бумаги наносят линии координатной сетки, для топографических планов 10x10 см, оцифровывают их. Точки съёмочного обоснования наносят на план по координатам X и Y с помощью измерителя и масштабной линейки. После этого выполняют нанесение пикетных точек, их на план наносят с помощью тахеографа по значениям горизонтальных углов и расстояний. Тахеограф прикладывают к соответствующей станции, с которой выполнялась съёмка, и откладывают горизонтальный угол от направления, по которому был ориентирован лимб по ходу часовой стрелки. По полученному таким образом направлению откладывают с помощью циркуля-измерителя и масштабной линейки горизонтальное проложение. Точку на плане отмечают наколом измерителя или карандашом и справа от нее подписывают отметку.

После нанесения реечных точек и построения ситуации переходят к отображению рельефа, для чего по линиям равномерного ската проводят **интерполяцию** – определение положения горизонтали на плане между пикетами с известными отметками, горизонтالي должны быть кратными заданной высоте сечения рельефа. Так при высоте сечения рельефа 0,5 м горизонтали должны иметь, например, такие отметки: 40 м; 40,5 м; 41 м; 41,5 м и т.д.

Интерполяцию производят только по линиям с равномерным скатом (рис.1.8), отмеченным на абрисе стрелками.

Различают интерполяцию: а) аналитическую; б) линейную (графическую).

Аналитическая интерполяция состоит в вычислении расстояний до горизонтали по отметкам точек и отметкам горизонталей, которые необходимо построить на плане. **Графическую интерполяцию** можно выполнить при помощи палетки – системы параллельных линий, нанесенных на кальку через равные расстояния (5 мм или 1 см). Каждая линия на палетке обозначается отметками условно соответствующими горизонталям. Применение данных способов построения рельефа горизонталями приводится во втором разделе (см. лаб. раб.№3).

Топографический план местности оформляют согласно действующим **условным обозначениям** [4]. Составление планов может быть выполнено вручную на листе ватмана (оформляются тушью, соблюдается цветовая гамма) или в цифровом виде, если съёмка выполнялась электронным тахеометром. Преимущества цифровой модели местности: компактность хранения информации, оперативность ее обновления и широкий набор возможностей применения. Существующие технические и программные средства позволяют просматривать и редактировать цифровую карту (план) на экране дисплея, выполнять различные расчеты, готовить и выводить на принтер или плоттер необходимые документы.

При выполнении тахеометрической съёмки электронным тахеометром прибор устанавливается на точках съёмочного обоснования, а на пикетах – специальные вехи-отражатели. При наведении на отражатели в автоматическом режиме определяется горизонтальный и вертикальный углы, а также расстояния до смежных съёмочных и пикетных точек. Информация (результаты измерений) записываются в накопитель информации (карту памяти), в микроЭВМ тахеометра ведется их предварительная обработка – вычисляются приращения координат и превышения на смежные съёмочные и пикетные точки. Автоматически прибором учитываются все поправки в измеренные расстояния и за наклон вертикальной оси прибора в измеренные углы.

Использование электронных тахеометров позволяет исключить все промежуточные операции, свойственные обычным тахеометрическим съёмкам, выполняемым с помощью теодолитов или номограммных тахеометров, связанные со считыванием отсчетов, записью результатов измерений в полевые тахеометрические журналы, обработкой журналов, ручной подготовкой топографических планов, дигитализацией планов при подготовке цифровых моделей местности. Топографические электронные тахеометры обеспечивают измерение расстояний с погрешностью 5 мм±3 мм/км; горизонтальных углов и

зенитных расстояний с погрешностью 5-7"; диапазон измерений до 3 км. 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 и их число определяется, прежде всего, условиями видимости снимаемой местности.

Планово-высотное съемочное обоснование электронных тахеометрических съемок создают двумя способами:

- в виде теодолитных ходов и замкнутых полигонов, создаваемых с помощью электронного тахеометра. В этом случае, как правило, создание планово-высотного обоснования и сами съемочные работы совмещают;

- при изысканиях протяженных линейных сооружений – в виде теодолитных ходов и замкнутых полигонов, создаваемых с помощью электронного тахеометра (плановое обоснование) и нивелира (высотное обоснование).

В настоящее время в практику топографо-геодезических работ внедряются роботизированные электронные тахеометры, которые имеют следующие компоненты: системы сервопривода при горизонтальном и вертикальном круге; сенсор на вехе с призмой для отслеживания ее тахеометром; канал связи между тахеометром и активной вехой с призмой (рис. 1.9).

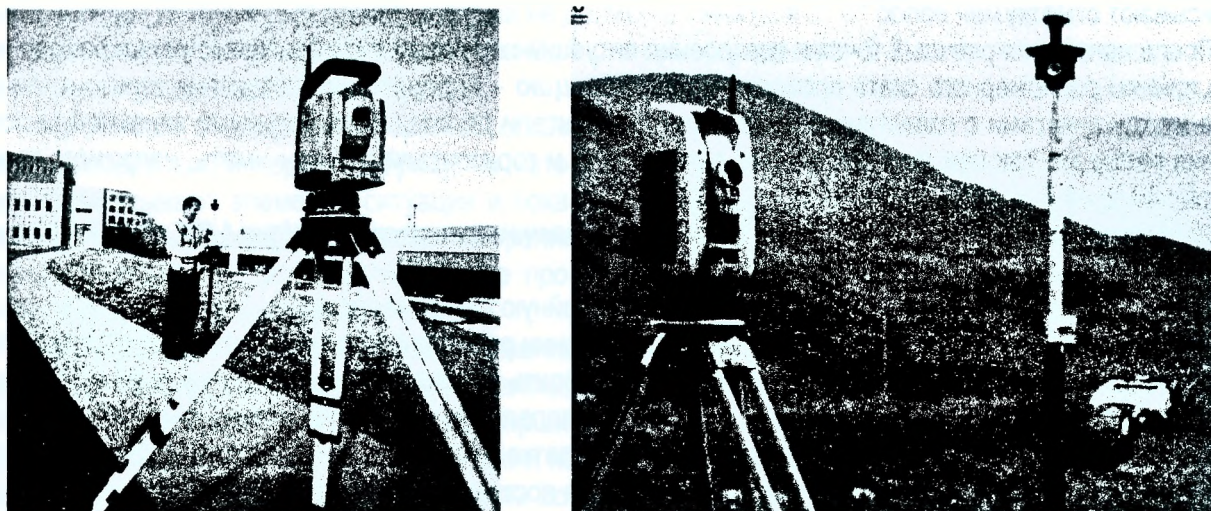


Рисунок 1.9 – Тахеометрическая съемка роботизированным электронным тахеометром TRIMBLE VX

Основные методы работы с электронными тахеометрами являются общими для большинства моделей и конкретизируются в соответствии с их возможностями, внутренним программным обеспечением, функциями клавиш. Работу на станции тахеометрической съемки начинают с установки и приведения прибора в рабочее положение. Измеряют высоту тахеометра от марки центра пункта до метки высоты прибора с точностью до мм. Съемку речных точек производят полярным способом. Измерения речных точек можно также выполнять в режиме координат, однако для этого режима предварительно должны быть введены координаты и отметка станции и точки начального ориентирования. Следует иметь в виду, что допущенные ошибки в координатах исходных точек в этом режиме войдут в координаты всех снятых пикетов.

В ходе съемки подробностей местности ведут кодирование семантической информации (табл. 1.5). Система полевого кодирования представляет собой набор команд, параметров и атрибутов, предназначенных для ввода и накопления информации о топографических объектах. Кодовая строка может быть представлена в одном из двух форматов: стандартном или компактном.

Стандартный формат предполагает использование произвольных отображаемых символов, а также наличие пробелов в качестве разделителей.

Выделяют три основных этапа обработки результатов измерений при тахеометрической съемке:

- первичная обработка результатов непосредственных измерений на основе встроенного ПО тахеометра;
- передача информации с тахеометра на компьютер;
- окончательная обработка результатов измерений с использованием универсальных программных пакетов с выдачей требуемой информации, в том числе в графическом виде.

Таблица 1.5 – Пример семантического описания шоссе в стандартном формате

Снимаемая точка	Стандартный формат	Комментарий
1	$613 \text{ pln } /V = 5.237 /N = 2 /W = 7.12$	Начало шоссе в виде ломаной. Задано значение ширины проезжей части, количества проезжих частей и общей ширины дороги.
2	613 arc	Начало второго сегмента шоссе в виде дуги окружности.
4	613	Вторая точка дуги окружности.
5	613	Третья точка дуги окружности.

Первичная обработка измерения углов и расстояний тахеометром выполняется автоматически после входа в соответствующий режим меню или режим работы прибора и сопровождает измерения. Встроенное ПО входит в техническое оснащение электронного тахеометра и обеспечивает ввод информации, настройку (установки) прибора, вычисление элементов привязки, определение координат и других геодезических величин, решение прикладных задач, настройку интерфейса. В некоторых случаях первичной обработки измерений, выполняемой тахеометром, достаточно, особенно при определении координат отдельных точек в режиме реального времени.

Математическая обработка ходов и других сложных построений, а также обработка и нанесение на план результатов съемки производится на персональных компьютерах с использованием специализированных программных комплексов.

Наиболее распространенным на территории РБ является программный комплекс **CREDO**. Программы, входящие в состав технологической линейки геодезического направления комплекса **CREDO**, позволяют полностью автоматизировать процесс обработки полевых материалов и получить в результате цифровую модель местности инженерного назначения, являющуюся сегодня основой для выполнения проектных работ в области строительства.

Все системы **CREDO** работают с единым набором данных в общей оболочке, что обеспечивает непрерывность процесса обработки изысканий и проектирования, предоставляет возможность осуществлять вариантное проектирование и в полной мере внедрять современные эффективные технологии. В то же время, каждый модуль комплекса **CREDO** является самостоятельной программной единицей и может использоваться отдельно.

Комплекс геодезических работ, направленный на создание цифровой модели местности (ЦММ), можно разделить на два этапа: обработка полевых измерений и, непосредственно, создание ЦММ. **CREDO_DAT** позволяет выполнить обработку спутниковых и наземных измерений различных классов точности, обработать результаты тахеометрической съемки в выбранной системе координат с учетом модели геоида, комплекса редуцированных поправок, обработать разнообразные геодезические построения. Для создания цифровой модели рельефа и ситуации используют систему **CREDO ТОПОПЛАН**, **CREDO ЛИНЕЙНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ** и **CREDO ОБЪЕМЫ**.

CREDO_DAT включает четыре основных этапа камеральных работ: ввод данных; обработку данных; экспорт данных и выпуск выходной документации. Ввод данных может осуществляться с электронных тахеометров, контроллеров, с рукописных полевых журналов, растровых файлов картографических материалов. После загрузки программы выполняется настройка, вводятся в окне запроса имя (название) объекта и основные характеристики: наименование, организация, населенный пункт и другие. Для редактирования данных, выявления и локализации грубых ошибок, определения весовых коэффициентов указываются СКП плановых измерений, допустимые высотные невязки, доверительные интервалы. Указывается название геодезического прибора, а также единицы измерений, формула вертикального угла. Ввод данных начинают с каталога исходных пунктов, используемых в построении. Далее используются файлы результатов измерений, полученные с тахеометра (рис. 1.10).

Работа программы включает предварительную обработку данных, анализ построения и уравнивание сети. В результате предварительной обработки формируется ведомость приведенных направлений, горизонтальных проложений и превышений.

Анализ построения выполняется программой отдельно для плановых и высотных измерений. Реализован алгоритм L-анализа, позволяющий выявить, локализовать грубые ошибки в углах, линиях, превышениях (рис. 1.11). Если их нет, выдается информация: «Грубых ошибок не обнаружено». Уравнивание сети выполняется программой параметрическим способом по методу наименьших квадратов. По результатам уравнивания выполняется полная оценка точности. Выдаются уравненные координаты

определяемых пунктов сети с развернутой оценкой их точности, включая эллипсы погрешностей их положения. Отдельно уравниваются высотные геодезические построения. Они представляют собой при измерениях электронным тахеометром ходы и другие схемы тригонометрического нивелирования. По результатам уравнивания формируются каталоги координат и высот пунктов геодезического построения, ведомости оценки точности плановых и высотных определений. Система CREDO_DAT также позволяет выполнять обработку материалов тахеометрической съемки с формированием топографических объектов и их атрибутов по данным полевого кодирования.

Станция	H	Место нуля	Инструмент	ТТО	ЛЮЙТО
PS-150	1,704	0°00'00"	1		
PS-148	1,500	0°00'00"	1		
1L	1,665	0°00'00"	1		
1P	1,568	0°00'00"	1		
2P	1,549	0°00'00"	1		
3P	1,509	0°00'00"	1		
4P	1,595	0°00'00"	1		
5P	1,617	0°00'00"	1		
1US	1,568	0°00'00"	1		
6P	1,589	0°00'00"	1		
3L	1,561	0°00'00"	1		
2US	1,612	0°00'00"	1		
4L	1,602	0°00'00"	1		
5L	1,584	0°00'00"	1		
5L	1,562	0°00'00"	1		
6L	1,531	0°00'00"	1		
2L	1,568	0°00'00"	1		

Цель	Круг	Гор. леоб	Верт. леоб	Hв	Прямые	Расст.	Метод отс
PS-148	Левое	55°31'04"	0°06'13"	1,520			Горизонта
PS-148	Левое	55°31'04"	0°06'14"	1,520		754,184	Наклонное
1L	Левое	41°15'20"	0°49'33"	1,520		874,681	Наклонное

Рисунок 1.10 – Файл с результатами измерений в CREDO DAT

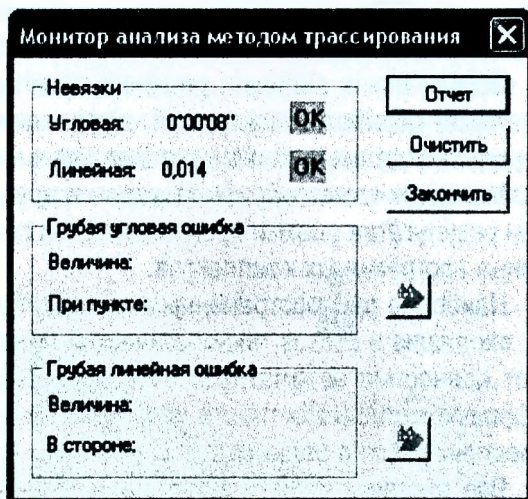


Рисунок 1.11 – Результат анализа методом трассирования

Дальнейшую обработку результатов тахеометрической съемки выполняют в системе CREDO ТОПОПЛАН, предназначенной для создания цифровой модели местности и выпуска топографических планов.

В системе CREDO ТОПОПЛАН последовательно выбирают создать «Узел на одном уровне», «Создать Проект», «Создать проект импортом внешних данных» и «Чтение Файла GDS CREDO» (рис. 1.12)

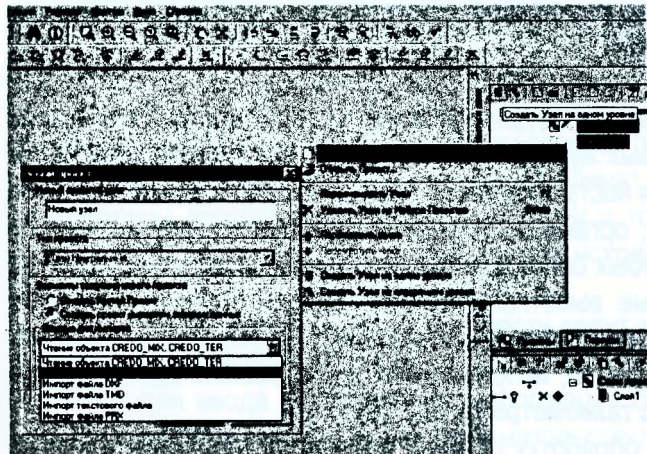


Рисунок 1.12 – Создание проекта

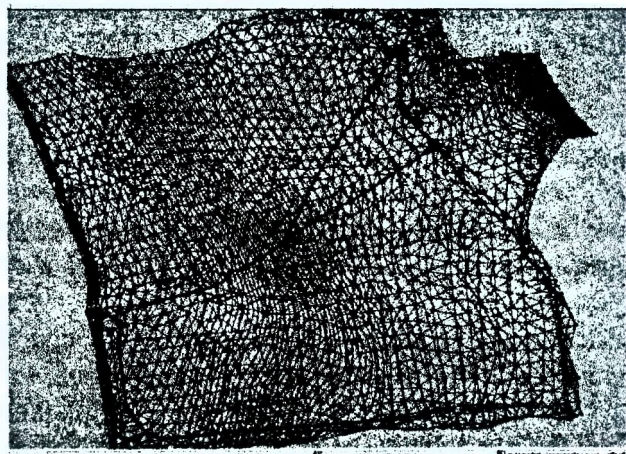


Рисунок 1.13 – Построение ЦМР

Последовательность выполнения операций по построению цифровой модели рельефа (ЦМР) может быть различной, но обычно вначале она создается в автоматическом режиме, затем редактируется (исправляется) по тем или иным критериям (рис. 1.13).

На заключительном этапе выполняют графическое оформление высотной части топографического плана в соответствии с условными знаками (подписи горизонталей, бергштрихи и др.). После создания контуров топографических объектов в соответствии с абрисом съемки оформляют планшет топографи-

ческого плана в масштабах 1:500-1:5000 с зарамочным оформлением. Для автоматизации процессов составления топографических планов в цифровом виде также используют системы автоматизированного проектирования (САПР) GeonICS, AutoCAD Civil 3D и др.

1.5. Нивелирование поверхности

Съемку этим методом выполняют для получения крупномасштабных топографических планов масштабов 1:2000 – 1:500 с высотой сечения рельефа 0,1; 0,2; 0,25; 0,5 м в условиях равнинной местности на незастроенной территории.

Нивелирование выполняют по квадратам, параллельным или характерным линиям, способом поперечников к теодолитному ходу и др. Во всех способах отметки пикетов определяют геометрическим нивелированием, а различие состоит лишь в схеме и способе определения превышений («из середины» или «вперёд»).

Нивелирование по квадратам разделяют на построение на местности сетки квадратов и нивелирование их вершин.

Местоположения вершин квадратов на местности получают построением прямых углов с помощью теодолита или нивелира с лимбом, а длины сторон разбивают стальной лентой либо рулеткой с точностью не грубее 1:2000.

Одновременно с разбивкой сетки квадратов ведут съёмку ситуации и характерных точек рельефа, результаты промеров заносят в абрис. Вершины квадратов закрепляют колышками (сторожками) маркированными по взаимно перпендикулярным осям, совпадающим со сторонами сетки. Кроме вершин квадратов, на местности закрепляют характерные точки рельефа, ситуации и др.

Перед началом нивелирования выбирают места установки нивелира (станции) так, чтобы с каждой из них можно было выполнить нивелирование вершин нескольких квадратов. При этом со смежных станций нивелируют общие (контрольные) точки. Сторону квадрата принимают равной 10, 20 и 40 м при съёмке в масштабах 1:500; 1:1000 и 1:2000 соответственно.

Отметки вершин квадратов и характерных точек определяют методом геометрического нивелирования технической точности, при этом расстояние от нивелира до рейки допускают не более 100-120 м в зависимости от качества изображения. При длине стороны квадрата 100 м нивелир устанавливают в центре каждого квадрата.

На рис. 1.14 показано нивелирование с одной станции для небольшой территории. Горизонт инструмента на станции получают, установив и сняв отсчет по рейке на точке (репере), отметка которой известна. Например, если отметка репера 131,225 м, то $ГИ = 131,225 + 1,558 = 132,783$ м. Отметки вершин квадратов определяют как разность между горизонтом инструмента и отсчетом по черной стороне рейке на этой точке: $132,783 - 2,568 = 130,215$ м.

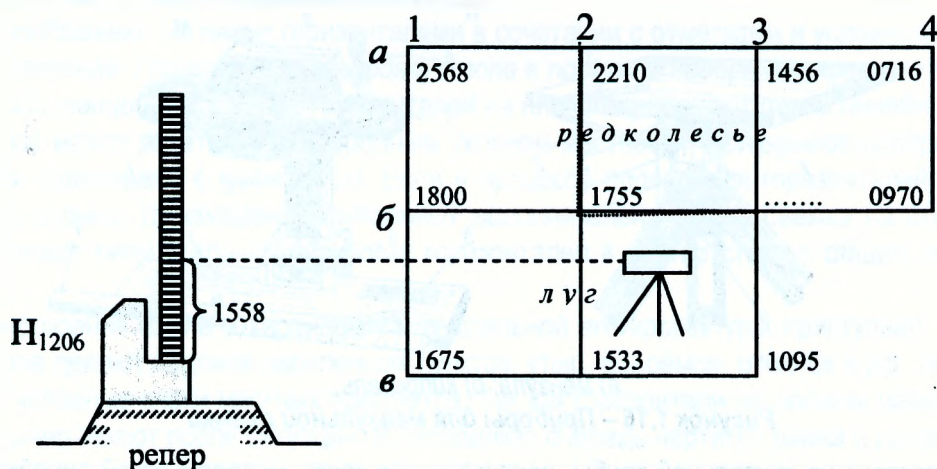


Рисунок 1.14 – Схема-журнал нивелирования по квадратам с одной станцией

На рис. 1.15 показано нивелирование большей по площади территории с трех станций. Привязка выполнена к исходным реперам 1 и 2. В качестве связующих точек выбраны точки 3д и 4б, их отметки определены нивелированием «из середины». Остальные вершины квадратов нивелировались способом «вперёд» со станций 2 и 3. В качестве контрольной точки при нивелировании использовалась точка 3б.

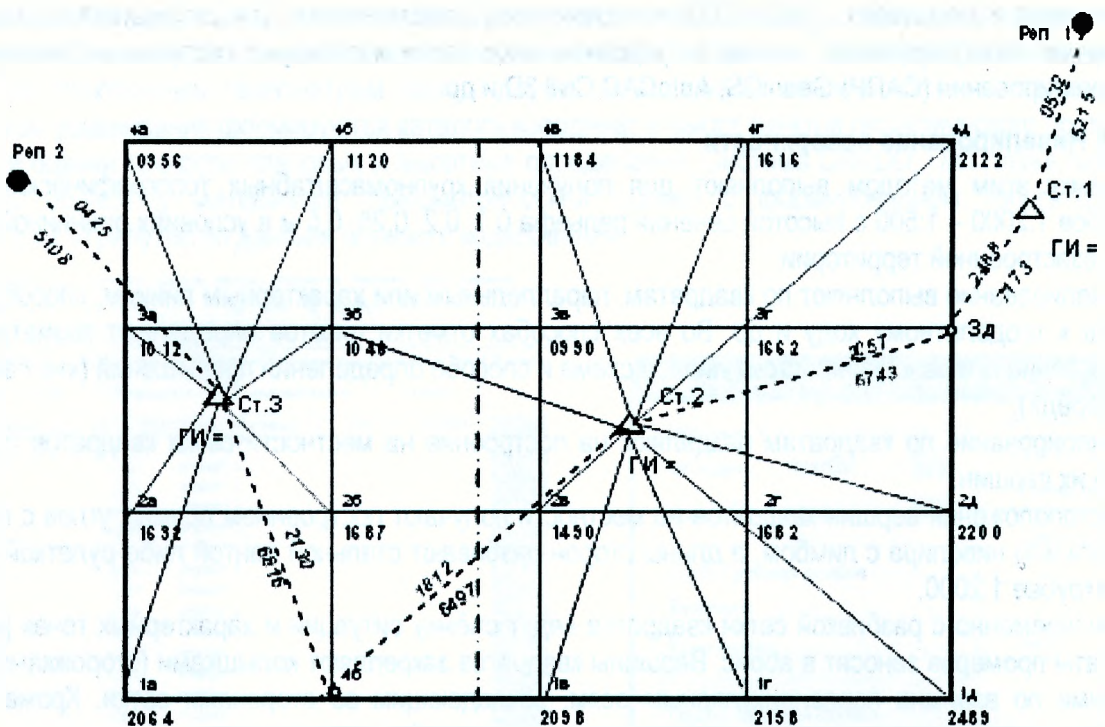


Рисунок 1.15 – Схема-журнал нивелирования по квадратам с нескольких станций

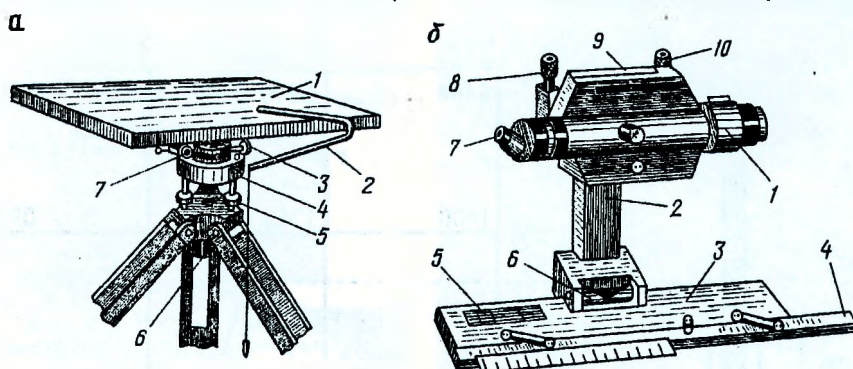
Используя абрис и вычисленные отметки из нивелирования поверхности по квадратам, строят план местности, на котором в соответствии с условными знаками показывают ситуацию, отметки вершин квадратов и рельеф горизонталями.

Топографический план, полученный в результате съёмки местности методом нивелирования поверхности по квадратам, служит графической основой для составления проекта вертикальной планировки (см. лаб. раб. №3).

1.6. Понятие о мензурной съёмке

Мензурной съёмкой называют графический метод составления топографических планов непосредственно в полевых условиях. При съёмке используется кипрегель, мензула с центрировочной вилкой (рис. 1.16) и дальномерная либо нивелирная рейка.

Мензула представляет собой столик, состоящий из штатива, подставки и деревянной доски.



а) мензула; б) кипрегель

Рисунок 1.16 – Приборы для мензурной съёмки

Кипрегель состоит из зрительной трубы, вертикального круга, металлической линейки для прочерчивания линий визирования и вертикальной колонки, при помощи которой наблюдатель придает кипрегелю нужное положение. Прибор имеет два цилиндрических уровня – в основании прибора и при зрительной трубе.

Съёмку выполняют на чертежных основах (планшетах), изготовленных из прозрачных малодеформирующихся пластиков или из высококачественной чертежной бумаги, которые наклеивают для предохранения плана от деформации на лист высококачественной фанеры или алюминия. На полученный таким

путем съемочный планшет наносят с помощью линейки Дробышева или координатографа координатную сетку со стороной 10 см, причем для съемки масштабов 1:500 – 1:2000 квадраты строят в рамках размером 50х50 см, а масштаба 1:5000 – в рамках 40х40 см.

Затем на планшет наносят по координатам пункты съемочного обоснования, подписывают координаты углов рамки и номенклатуру планшета на северной стороне рамки. Планшет прикрепляют к мензурной доске с помощью небольших гвоздиков.

Кроме планшета заготавливаются две кальки: высот и контуров, которые в процессе съёмки ежедневно должны пополняться в конце рабочего дня, их вычерчивают тушью.

Кипрегель позволяет измерять расстояния и превышения при горизонтальном положении зрительной трубы. Результаты измерений заносят в специальный журнал.

Горизонтальные проложения до точек определяются при помощи нитяного дальномера, а превышения – тригонометрическим нивелированием, используя кривые в поле зрения кипрегеля (рис. 1.17).

Кривые превышений и горизонтальных проложений расположены в поле зрения трубы и имеют соответственно коэффициенты $kh = \pm 10, 20, 100$ и $ks = 100, 200$, изображения которых наблюдают при круге лево.

Начальная кривая расположена в нижней части поля зрения трубы.

Плановое положение характерных точек контуров ситуации и рельефа определяют полярным способом. Съёмку отдельных предметов местности разрешается выполнять способом засечек с числом направлений не менее трех. Направления на планшете прочерчивают с помощью линейки, расположенной в основании кипрегеля.

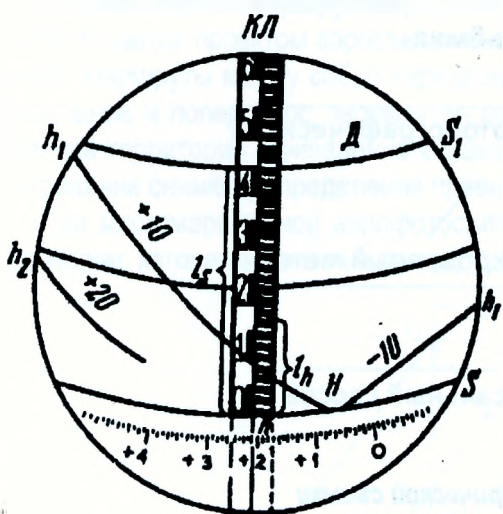


Рисунок 1.17 – Поле зрения кипрегеля КН

При съёмке ситуации рейку ставят на всех характерных изгибах контура. Соответствующие наколы сразу соединяют вслед за набором пикетов, а полученный на планшете контур глазомерно сравнивают с контуром местности. На следующей съемочной точке съёмку контуров начинают с тех точек, которые были сняты на предыдущей станции.

Съёмку рельефа производят одновременно со съёмкой ситуации. Число пикетов зависит от сложности рельефа местности и принятой высоты сечения. Отметки пикетов записывают на планшете карандашом рядом с наколом с округлением до 0,1 м при съёмке рельефа с высотой сечения 1 м и больше и с точностью до 0,01 м при высоте сечения через 0,5 м.

Рельеф изображают на плане горизонталями в сочетании с отметками и условными знаками прямо в процессе измерений. *Горизонтали проводят в поле в процессе набора пикетов или по окончании набора на данной станции.* Положение горизонталей на плане определяют путем линейного интерполирования «на глаз» между пикетами с однородным уклоном местности. Полученное изображение рельефа горизонталями сравнивают с местностью. Если в процессе проведения горизонталей выясняется, что пикетов недостаточно, то измерения выполняют дополнительно. Когда съёмка на станции закончена полностью, делают окончательную зарисовку горизонталей в соответствии с общим характером форм рельефа.

После построения плана в карандаше и тщательной его корректуры приступают к вычерчиванию тушью. Сначала делают подписи населенных пунктов, улиц, водоёмов, отметок и др., затем вычерчивают контуры и условные знаки местных предметов. Так как горизонтали не должны пересекать условные знаки, то их вычерчивают после ситуации. В последнюю очередь чертится рамка и делается зарамочное оформление.

Качество плана, созданного мензурным методом, высокое. Но съёмка зависима от погодных условий и уступает по производительности другим методам.

1.7. Аэрофототопографический способ (аэросъёмка)

Фототопографической съёмкой называют комплекс процессов, выполняемых для создания топографических или специальных карт и планов по материалам фотосъёмки.

В этот комплекс входит: фотографирование местности; полевые геодезические работы по определению координат опорных точек и камеральные фотограмметрические работы, результатом которых является топографический план (карта) местности.

Аэрофототопографическая съемка используется для составления топографических карт больших по площади территорий, при инженерных изысканиях для строительства протяженных линейных сооружений (нефте- и газопроводы и др.).

В зависимости от масштаба фотографирования аэрофотосъемку подразделяют на сверх мелкомасштабную (масштаб мельче 1:200 000), на мелкомасштабную (1:51 000 и мельче), среднемасштабную (1:16 000 – 1:50 000) и крупномасштабную (1:15 000 и крупнее).

На рис 1.18 показаны методы фототопографической съемки.



Рисунок 1.18 – Методы фототопографической съемки

Комбинированный метод – предполагает получение плановой (контурной) части карты в камеральных условиях, а высотную часть – в полевых. Камеральные работы включают операции по сгущению полевого обоснования и изготовление контурных фотопланов, а полевые – съемку рельефа приемами мензульной съемки.

Стереотопографический метод решает задачу составления карты на основе свойств пары снимков. В стереотопографическом методе различают два способа обработки снимков: универсальный и дифференцированный.

Дифференцированный способ решает задачу обработки снимков на нескольких приборах, одна часть которых (фототрансформатор) применяется для изготовления контурного фотоплана, а другая часть (стереометр) – для рисовки рельефа (горизонталей).

Универсальный способ основан на применении методов и приборов, позволяющих по результатам обработки пары снимков определить одновременно плановые координаты и высоты точек. Все процессы такой фотограмметрической обработки выполняются на одном приборе. В настоящее время при обработке материалов аэрофотосъемки применяют цифровые фотограмметрические системы (ЦФС).

Цифровая фотограмметрическая система (ЦФС) – совокупность программных и технических средств, связанных общей функцией и обеспечивающих выполнение комплекса технологических процессов, необходимых для получения продукции аэрофотосъемки в цифровом виде по цифровым изображениям. Под продукцией понимают цифровой ортофотоплан (или фотоплан в картографической проекции) и цифровую векторную модель местности (цифровую векторную карту).

Наиболее известными ЦФС являются ImageStation (Intergraph Corporation), SOCET SET (LH-systems LLC), IMAGINE OrthoBASE (ERDAS Inc.), PHOTOMOD (Россия) и др.

В настоящее время на производстве применяют несколько технологических схем создания цифровых планов и карт по материалам аэрофотосъемки [6]. Наибольшее распространение получила технологическая схема, основанная на применении ЦФС, которая включает следующие этапы:

1. Аэрофотосъемочные работы.
2. Планово-высотная привязка снимков.
3. Сканирование негативов на фотограмметрическом сканере (в случае использования классических аэрофотокамер).

4. Фотограмметрическое сгущение (построение фототриангуляции).
5. Изготовление цифрового ортофотоплана.
6. Сбор цифровой информации о контурах и рельефе с камеральным дешифрированием и семантическим кодированием объектов.
7. Дешифрирование аэрофотоснимков (фотопланов) (полевая доработка).
8. Редактирование и оформление цифрового оригинала топографической карты (плана) или фотокарты.

Аэрофотосъёмочные работы. С самолета с определенной высоты фотографирования, зависящей от масштаба съемки, местность фотографируют автоматической аэрофотокамерой при почти вертикальной её оптической оси.

Съемка ведется маршрутами, причем маршруты проектируются с перекрытием. Продольное перекрытие задается проектом аэросъемочных работ и может быть 60% для равнинной местности или 80% в горной. Маршруты между собой перекрываются на 30-40%, такое перекрытие называется поперечным. Продольное и поперечное перекрытия способствуют совместной обработке всех аэрофотоснимков на заданной территории (приведение к единому масштабу всех аэрофотоснимков, стереоскопическое рассмотрение снимков, определение превышений между точками и т.д.).

При многомаршрутной аэрофотосъемке на каждом последующем снимке фотографируется часть территории, которая заснята на предыдущем снимке (рис. 1.19).

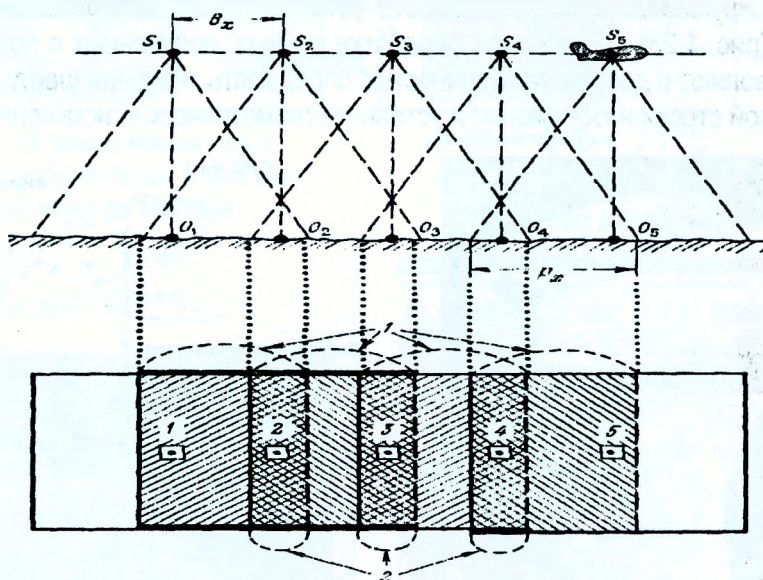


Рисунок 1.19 – Схема аэросъемки одного маршрута

Плано-высотная привязка снимков – комплекс топографо-геодезических работ по опознаванию на местности и определению геодезических координат избранных контурных точек аэроснимков – опознаков. Определение координат и высот опознаков производят в результате полевых измерений на местности при помощи спутниковых геодезических приёмников или электронным тахеометром. При разреженной плано-высотной привязке снимков опознаки размещают рядами поперек съёмочных маршрутов в зоне поперечного и тройного продольного перекрытия снимков (рис. 1.20).

Цифровые фотоизображения получают двумя способами: путем сканирования на фотограмметрических сканерах аналоговых фотоснимков (аэронегативов), полученных в процессе аэрофотосъемки либо с использованием цифровых съёмочных систем ЦСС (сенсоров) непосредственно в процессе аэрофотосъемки. В первом случае элементы геометрического разрешения сканирования устанавливают в соответствии с требованиями действующей инструкции по фотограмметрическим работам [6].

В настоящее время аэрофотосъемку выполняют с использованием цифровых съёмочных систем (ЦСС), которые по способу формирования изображения классифицируют: цифровые съёмочные системы с использованием ПЗС-матриц (кадровые системы); цифровые съёмочные системы с использованием ПЗС-линеек (сканирующие системы), здесь ПЗС-приемник зарядовой связью.

Преимущества использования цифровых съёмочных систем состоит в следующем: отсутствуют расходы на аэрофотопленку и фотолабораторные работы; контроль качества снимков в полете; высокая

радиометрическое разрешение (12 бит на пиксел и выше); возможность одновременной съемки в разных спектральных диапазонах; отсутствие процесса внутреннего ориентирования при обработке в цифровых фотограмметрических системах; возможность создавать неограниченное количество копий снимка с качеством оригинала и др.

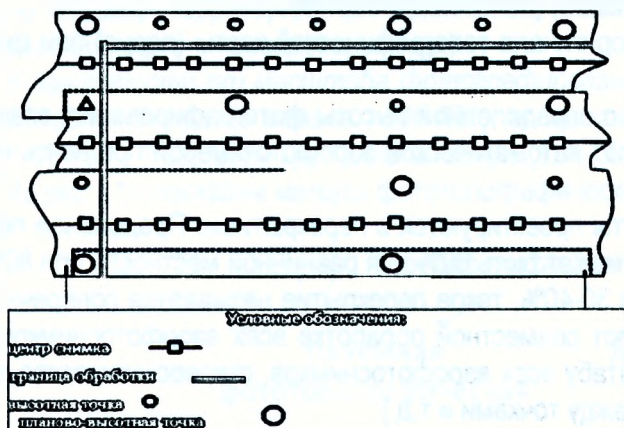


Рисунок 1.20 – Размещение опознаков

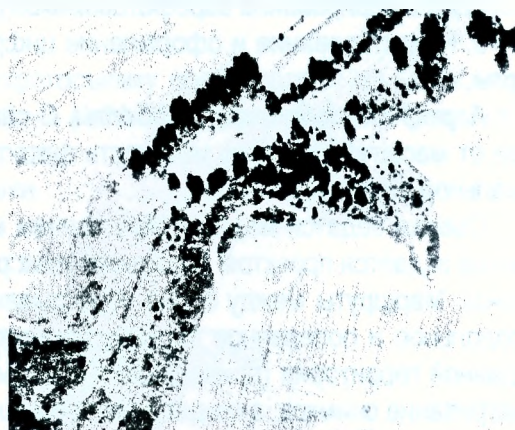


Рисунок 1.21 – Опознак на аэрофотоснимке

При съемке сканирующими ЦСС на самолете устанавливают интегральный навигационный комплекс GPS/IMU IMU (рис. 1.23). Совместная обработка данных, полученных с помощью GPS и инерциальной системы, позволяют с достаточной точностью определять значения шести параметров внешнего ориентирования каждой строки изображения и устранить геометрические искажения снимка.

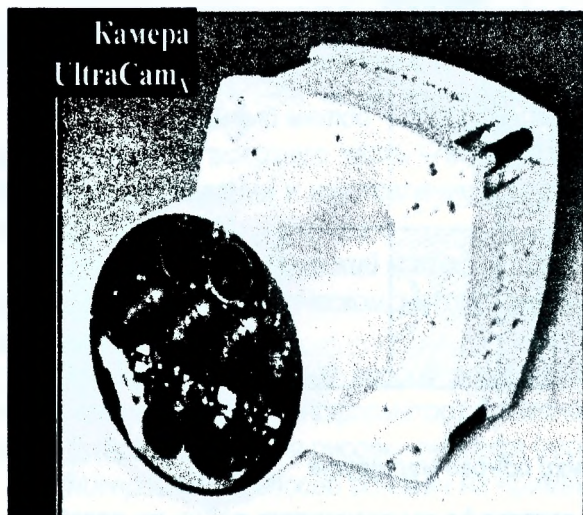


Рисунок 1.22 – Цифровая съемочная система

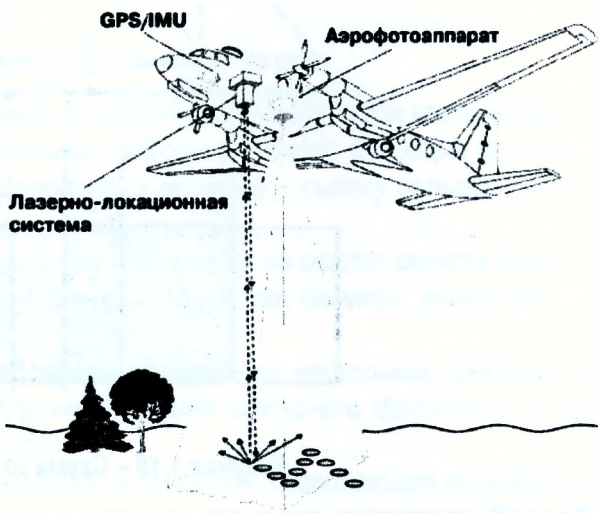


Рисунок 1.23 – Современный аэросъемочный комплекс

Этапы (4–6) технологической обработки выполняют с применением цифровых фотограмметрических систем. В странах СНГ наибольшее распространение получила ЦФС PHOTOMOD, разработанная ОАО «Ракурс» в содружестве с ведущими специалистами России. ЦФС Photomod позволяет обрабатывать наземные и воздушные снимки, сканерные, радиолокационные изображения, а также снимки, полученные не метрическими камерами. Система имеет модульную структуру и функционирует в локальной сети.

Пространственная фототриангуляция – метод определения пространственного положения точек местности путем фотограмметрических засечек точек по перекрывающимся снимкам. Для построения фототриангуляции в ЦФС необходимо выполнить следующие операции: внутреннее ориентирование снимков; взаимное ориентирование снимков по связующим точкам; внешнее (геодезическое) ориентирование сети по опорным точкам. Измерение координат связующих и опорных точек выполняют в стереоскопическом режиме (стереорежиме) с использованием специальных очков.

Ортофотоплан – фотографический план местности, изготовленный в избранной единой системе координат с точностью, предъявляемой к топографическим планам (картам), полученным путём преобразования аэроснимков из центральной проекции в ортогональную с применением методов дифференциального ортофототрансформирования. Ортофотопланы полностью свободны от перспективных иска-

жений, вызванных углом наклона снимка, а *остаточное влияние рельефа местности* не превышает 0,3 мм в масштабе плана. Современные технологии изготовления цифровых ортофотопланов предполагают возможность получения их с заданным размером элемента геометрического разрешения. Для создания цифрового ортофотоплана необходима цифровая модель рельефа (ЦМР), которая создается по стереопарам снимков. Например, модуль DTM системы PHOTOMOD позволяет создавать ЦМР в различных представлениях пикеты, структурные линии, модели TIN и DEM, горизонтали, выполнять редактирование как в монорежиме, так и в специальном 3D-окне (рис. 1.26). На следующем этапе создают цифровой ортофотоплан в модуле PHOTOMOD MOSAIC из центральных частей, трансформированных снимков (рис. 1.27).

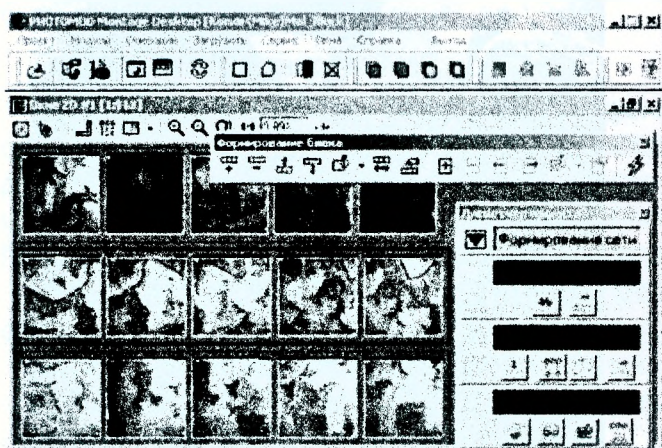


Рисунок 1.24 – Формирование сети по цифровым изображениям в модуле PHOTOMOD Montage Desktop

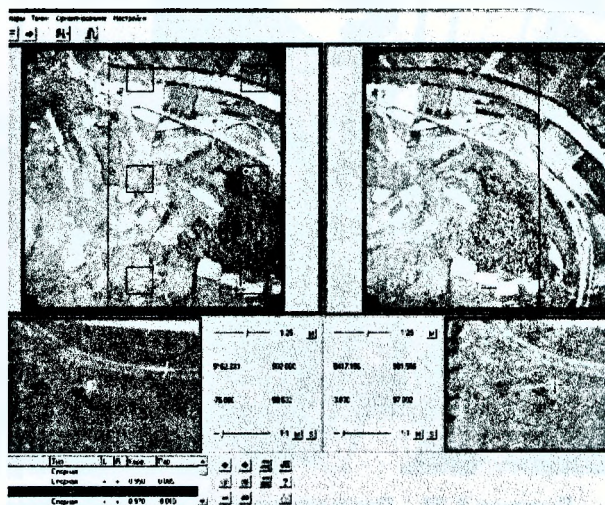


Рисунок 1.25 – Взаимное ориентирование снимков в модуле PHOTOMOD AT

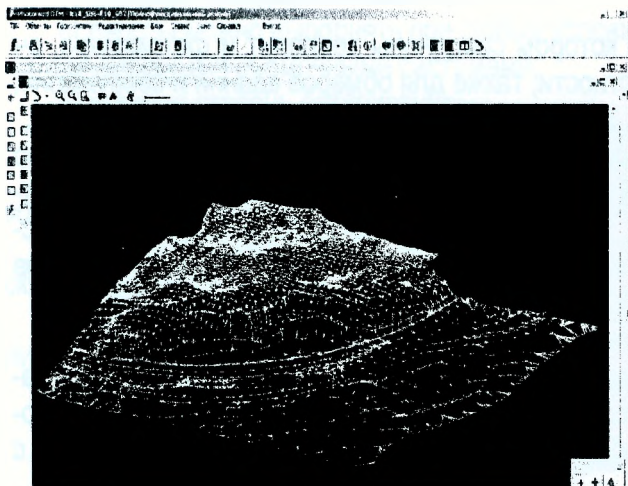


Рисунок 1.26 – Построение ЦМР в модуле PHOTOMOD DTM (3D-окно)

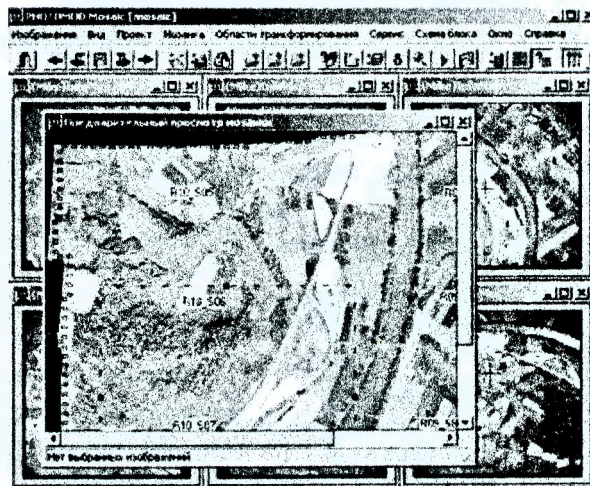


Рисунок 1.27 – Монтирование мозаичного ортофотоплана в модуле PHOTOMOD MOSAIC

Дешифрирование снимков – процесс распознавания объектов местности по фотографическому изображению и выявление их содержания с обозначением условными знаками качественных и количественных характеристик. При камеральном дешифрировании с помощью фотограмметрических приборов с использованием прямых и косвенных дешифровочных признаков и вспомогательных материалов (топографические карты последнего срока обновления, сведения о границах населенных пунктов, названиях и др.) определяют все характеристики объектов, которые необходимы при составлении топографических карт.

В данной технологической схеме камеральное дешифрирование производят непосредственно с использованием ЦФС, выполняя векторизацию в стереорежиме или по ортофотоплану с семантическим кодированием объектов в соответствии с принятым классификатором объектов (рис. 1.28 и 1.29).

При полевом дешифрировании непосредственно на местности определяют высоту деревьев, этажность зданий, социальное назначение, материал, из которого построены здания, линии ЛЭП и т.д., а

также выполняют необходимые геодезические измерения для нанесения на план объектов, которые появились после аэрофотосъемки или не отобразились на снимках. Такое дешифрирование выполняют в населённых пунктах.

Редактирование и оформление цифрового оригинала топографической карты (плана) выполняют с помощью встроенных функций ЦФС или специализированных программ (ГИС ПАНОРАМА) и картографических систем.

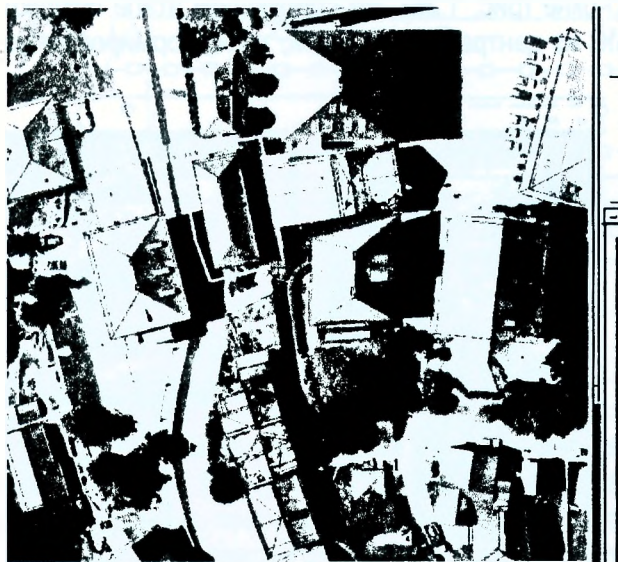


Рисунок 1.28 – Векторизация в стереорежиме в модуле PHOTOMOD STEREO DRAW



Рисунок 1.29 – Фрагмент ортофотоплана с результатами дешифрирования

1.8. Понятие о фототеодолитной съемке

Метод основан на применении фототеодолита, в котором соединены теодолит и фотокамера, он применялся для съемки площадок и трасс в горной местности, также для обмеров зданий и сооружений, транспортных узлов, карьеров, надземных сооружений, для наблюдений за деформациями сооружений.

Для съёмки местности широко использовался фототеодолит Photoe 19/1318, а для архитектурных обмеров – универсальная фотограмметрическая камера UMK 10/1318, для съёмок с близкого расстояния использовали малоформатные (8x8 см) стереофотограмметрические камеры SMK 5.5/0808/40 и SMK5,6/0808/120.

Метод состоит в следующем.

Фототеодолит устанавливают в двух точках – на концах линии, называемой базисом фотографирования. На каждой точке производят фотографирование местности. В результате съёмки получают два снимка с перекрытием.

Фотокамеры снабжены ориентирующими приспособлениями, с помощью которых осуществляется ориентирование снимка или стереопары в пространстве. Величина фокусного расстояния объектива фотокамеры, известная с точностью до 0,01 мм, впечатывается в верхнем углу снимка. На краях фотоснимка обозначают координатные метки, по которым определяют направления осей X и Z. Снимки можно увеличить до 10 крат, при этом измерительные свойства снимков не уменьшаются.

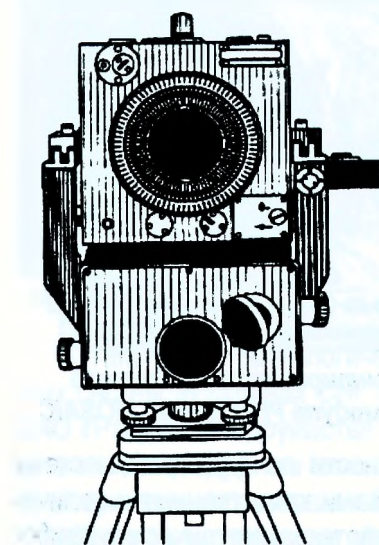


Рисунок 1.30 – Фотокамера UMK 10/1318

В результате съёмки получают два снимка с перекрытием, то есть стереопару. Для составления по стереопаре фотографического плана необходимо знать длину базиса фотографирования, координаты и высоты нескольких опознаков (хорошо читаемых на снимке точек или специально маркированных на местности), определенные на местности.

Фотографирование памятников архитектуры выполнялось с помощью высокоточных метрических фотокамер, снабженных координатной сеткой Резо, обеспечивающих высокое геометрическое и фотографическое качество снимков, с высокой разрешающей способностью. Эти качества позволяли исполь-

зовать снимки для измерений, изображенных на них объектов и составления планов фасадов зданий и отдельных фрагментов в масштабах 1:1 – 1:20.

Обработка материалов фотототеоодолитной съемки заключалась в определении координат точек сфотографированных объектов и, при необходимости, составлении топографического плана. Для этой цели применялись стереокомпараторы и специальные приборы стереоавтографы, предназначенные для стереофотограмметрической обработки наземных снимков.

В настоящее время все большее распространения получают цифровые фотокамеры и лазерные сканирующие съемочные системы. Последние позволяют не только получить изображение объекта, но и координаты его точек в заданной системе координат, что ускоряет процесс фотограмметрической обработки снимков.

1.9. Лазерное сканирование

Лазерное сканирование – метод, позволяющий создать цифровую модель окружающего пространства в виде набора точек с пространственными координатами. Технология наземного лазерного сканирования основана на выполнении съёмки местности, зданий или сооружений с помощью лазерного сканера, промежуточным результатом съёмки является «сырое облако точек», обработка выполняется на ПК по специальным программам, в результате получают чертежи или пространственную модель.

Наземное лазерное сканирование обладает следующими преимуществами по отношению к другим способам получения пространственной информации:

- 1) возможность определения пространственных координат точек объекта в полевых условиях;
- 2) трехмерная визуализация в режиме реального времени, позволяющая на этапе производства полевых работ определить «мертвые» зоны;
- 3) высокая точность измерений;
- 4) принцип дистанционного получения информации обеспечивает безопасность исполнителя при съемке труднодоступных и опасных районов;
- 5) высокая производительность;
- 6) работы можно выполнять при любых условиях освещения, т.е. днем и ночью, так как сканеры являются активными съемочными системами;
- 7) высокая степень детализации;
- 8) многоцелевое использование результатов лазерного сканирования.

Благодаря своим преимуществам, наземное лазерное сканирование находит широкое применение во многих областях науки, техники и отраслях народного хозяйства, таких как:

- съемка предприятий со сложной структурой (нефтегазоперерабатывающие комплексы, химические предприятия и т.п.);

- обмер зданий и строений с целью определения деформаций и подготовки проектов реставрации либо реконструкции;

- съемка открытых и закрытых горных разработок;

- съемка дорог и дорожных объектов (мостов, путепроводов, прилегающей зоны) и др.

Основную блок лазерного сканера показаны на рис.1.31:

- *измерительный блок*, в нем расположены лазерный излучатель и приемник;

- *вращающаяся призма* обеспечивает распределение пучка в вертикальной плоскости.

- *сервопривод горизонтального круга* обеспечивает вращение измерительной головки в горизонтальной плоскости.

В настоящее время нет запатентованной технологии выполнения работ по наземной лазерной съемке с целью построения трехмерных моделей местности и создания топографических планов участков сканирования. Рассмотрим некоторые применяемые на производстве технологические схемы выполнения работ (рис. 1.33) [9].

На этапе составления технического проекта регламентируются требуемая точность построения трехмерной модели местности (объекта) или цифрового плана, содержание и детализация их, необходимый формат (расширение) готовой продукции, используемое оборудование, стоимость проведения работ и др. При выполнении рекогносцировка местности с учетом конкретных условий местности выбирается рациональный способ создания и сгущения съемочного обоснования, намечаются точки расположения сканера, места размещения специальных марок, уточняются сроки проведения работ и т.п. По завершении рекогносцировки составляются абрисы на снимаемую территорию.

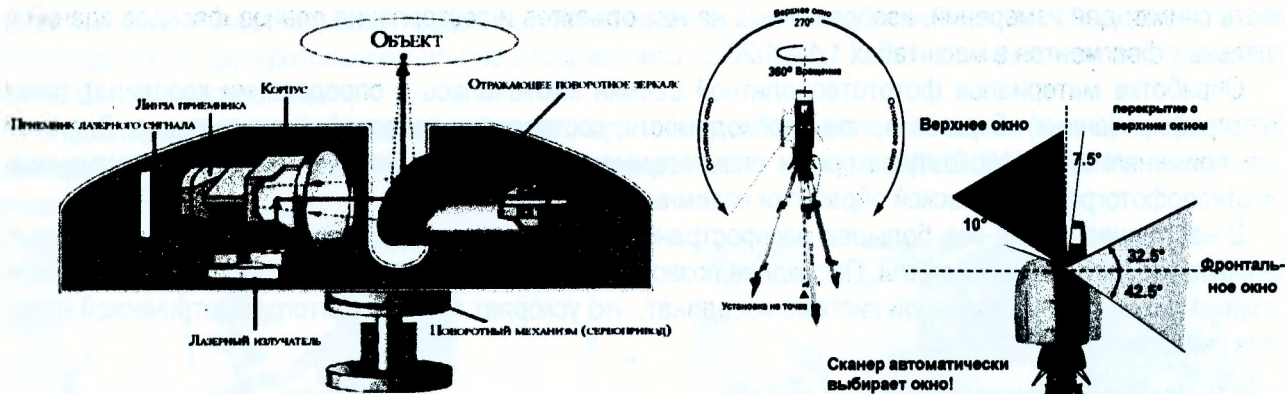


Рисунок 1.31 – Основные блоки лазерного сканера **Рисунок 1.32 – Принцип работы лазерного сканера**

Создание плано-высотного обоснования съемки включает:

- составление проекта сети основного и рабочего плано-высотного обоснования;
- закрепление точек основного плано-высотного обоснования;
- полевые измерения по плано-высотной привязке точек основного обоснования (с использованием электронного тахеометра или спутниковых геодезических приемников);
- камеральная обработка: уравнивание результатов полевых измерений и составление каталога координат точек;
- создание рабочего плано-высотного обоснования.

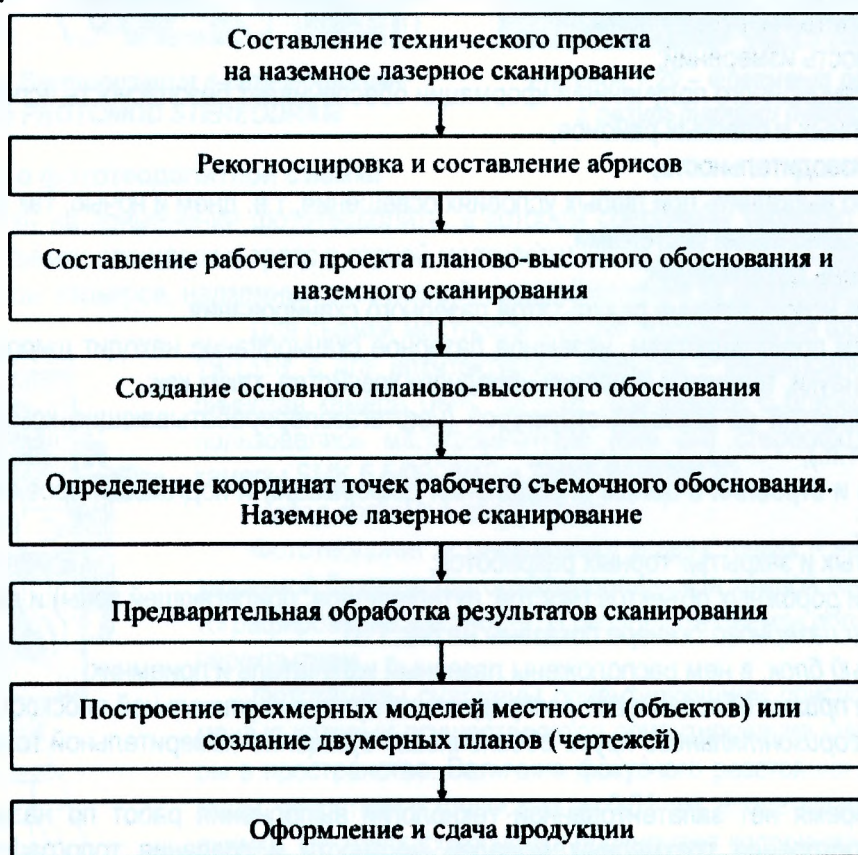


Рисунок 1.33 – Технология построения трехмерных моделей местности и создания цифровых топографических планов

С пунктов основной опорной сети определяются координаты точек рабочего съемочного обоснования, которые проектируются на расстоянии от 2 до 50 м вокруг точек стояния сканера. В качестве точек рабочего съемочного обоснования используются специальные марки (рис. 1.34), координаты которых определяют электронным тахеометром в безотражательном режиме.

Порядок работы на сканерной станции заключается в следующем:

- 1) установка сканера на пункте,

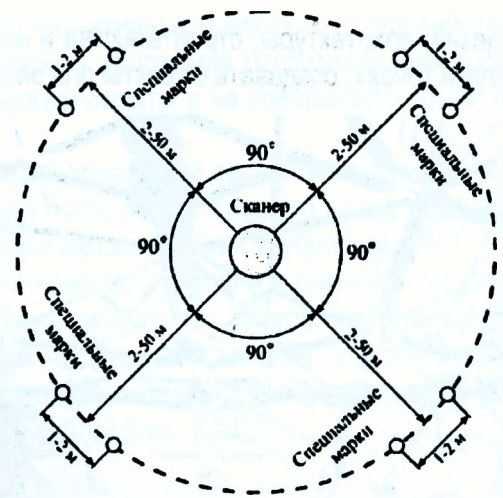
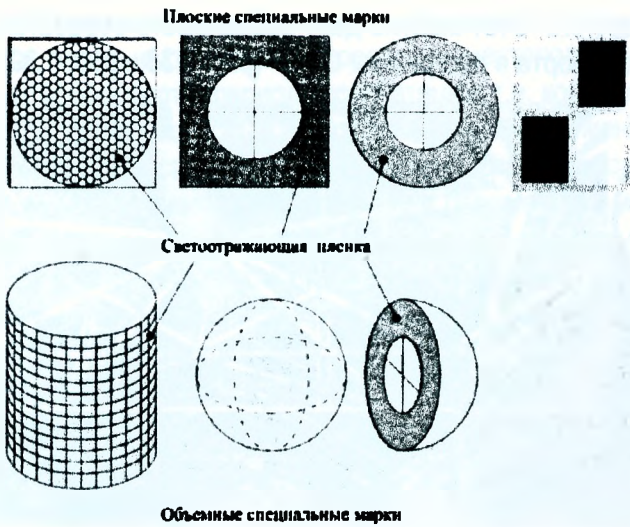


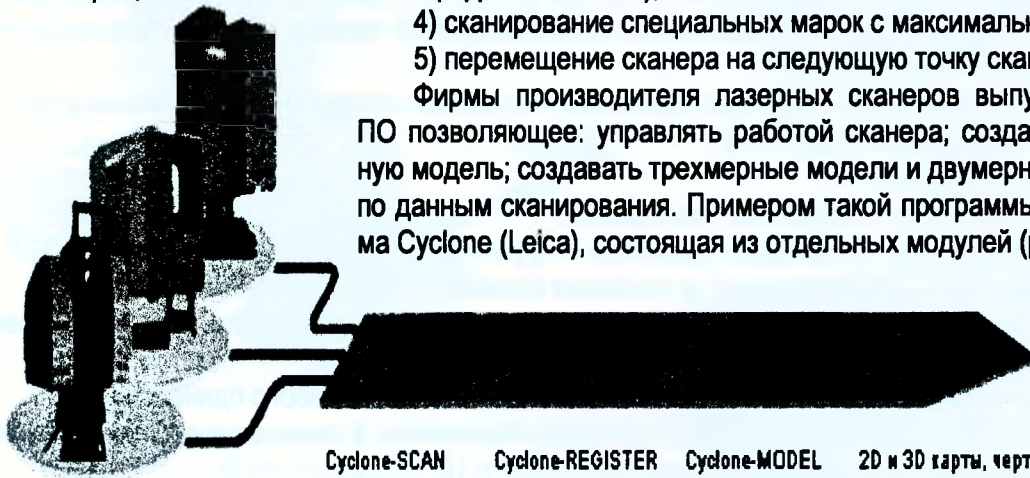
Рисунок 1.34 – Специальные светоотражающие марки

Рисунок 1.35 – Схема расположение специальных марок

2) расстановка вокруг сканера специальных марок и определение координат их центров
 3) сканирование местности и объектов вокруг точки стояния сканера (если сканер снабжен цифровой камерой, то выполняется также цифровая съемка);

4) сканирование специальных марок с максимальным разрешением;
 5) перемещение сканера на следующую точку сканирования.

Фирмы производителя лазерных сканеров выпускают комплексное ПО позволяющее: управлять работой сканера; создавать единую точечную модель; создавать трехмерные модели и двумерные чертежи (планы) по данным сканирования. Примером такой программы является программа Cyclone (Leica), состоящая из отдельных модулей (рис. 1.36).



Cyclone-SCAN	Cyclone-REGISTER	Cyclone-MODEL	2D и 3D карты, чертежи,
		Cyclone-SURVEY	объединенные облака точек
		Cyclone-CloudWork	трехмерные модели, обшеры,
			текстовые отчеты, видеоролики и т.д.

Рисунок 1.36 – Модули программы Cyclone

Cyclone-SCAN – это модуль для управления работой сканеров Leica (HDS2500, HDS3000). Пользователь может настраивать плотность сканирования, фильтрацию данных, сканировать и автоматически распознавать плоские и сферические марки, создавать собственные макрокоманды. Модуль Cyclone-REGISTER автоматически распознает стандартные визирные марки также связывает сканы по характерным связующим точкам без визирных марок (рис. 1.37). Это дает возможность оптимального планирования расположения сканерных станций и визирных марок и экономит время работы в поле и в офисе.

Cyclone-MODEL – программа для моделирования и составления чертежей, состоящая из средств измерения, моделирования геометрических объектов для инженерных изысканий,

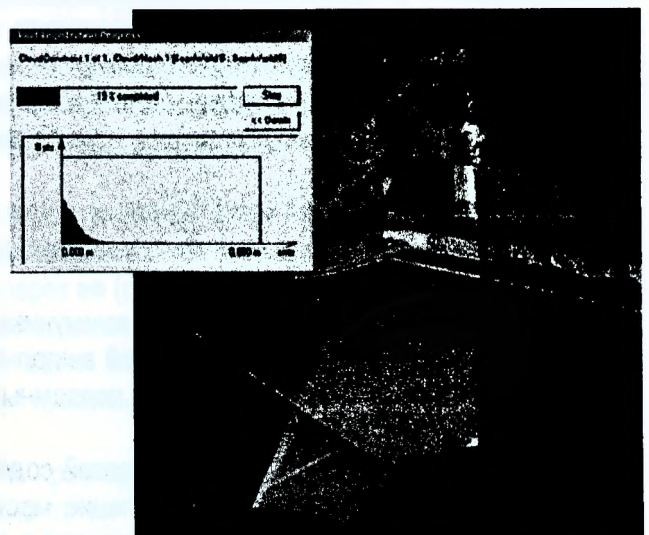


Рисунок 1.37 – Пример «сшивки» сканов по общим точкам в Cyclone-REGISTER

геодезии, архитектуры, строительства и многого другого. Этот модуль дает возможность обрабатывать «облака точек», создавать объекты для экспорта и импорта в программы САПР (рис. 1.38 и рис. 1.39).

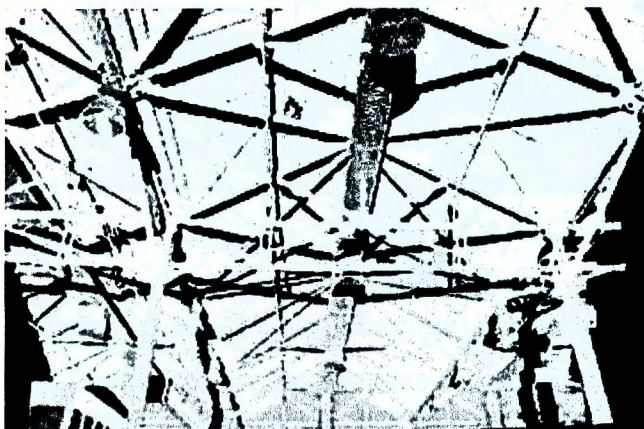


Рисунок 1.38 – Облако точек

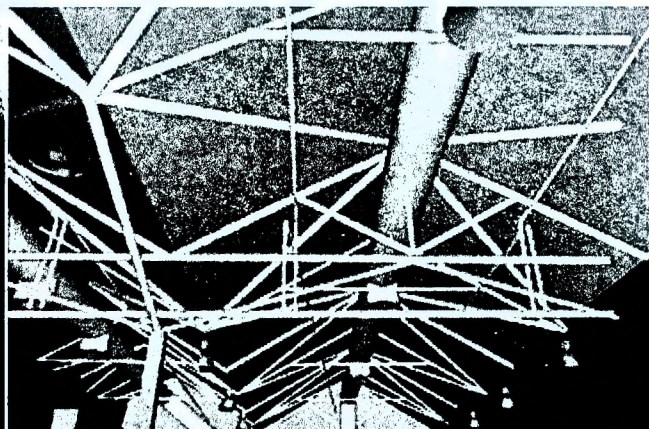


Рисунок 1.39 – Пространственная модель объекта

1.10. Съёмка подземных коммуникаций

При составлении инженерно-топографических планов для целей проектирования и специализированных планов, отражающих состояние подземного хозяйства данной территории, обязательно производят съёмку подземных коммуникаций.

В комплекс работ по съёмке существующих подземных и надземных инженерных коммуникаций входят:

- сбор и анализ имеющихся материалов;
- рекогносцировка местности;
- обследование подземных и надземных сооружений;
- плановая и высотная съёмка выходов подземных сооружений на поверхность земли;
- поиск и съёмка 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.

Требования к точности плановой съёмки всех видов коммуникаций примерно одинаковы.

На застроенных территориях средняя квадратическая погрешность в положении отдельных линий между собой и по отношению к контуру сооружений составляет 0,10–0,15 м.

На незастроенных территориях с редкой сетью коммуникаций эта погрешность может достигать до 0,5 м.

Точность высотной съёмки коммуникаций зависит от требований к соблюдению проектных отметок и уклонов.

Для самотечных трубопроводов погрешность в отметках лотков соседних колодцев допускают не более 5–10 мм, а отклонение от проектных уклонов – до 10–20% от величины самого уклона.

Для съёмки подземных коммуникаций применяют следующие методы:

- 1) исполнительная съёмка коммуникации до засыпки траншей;
- 2) шурфование;
- 3) аэрофотосъёмка для магистральных нефте- и газопроводов;
- 4) индуктивный метод (применение трассоискателей);
- 5) применение георадаров.

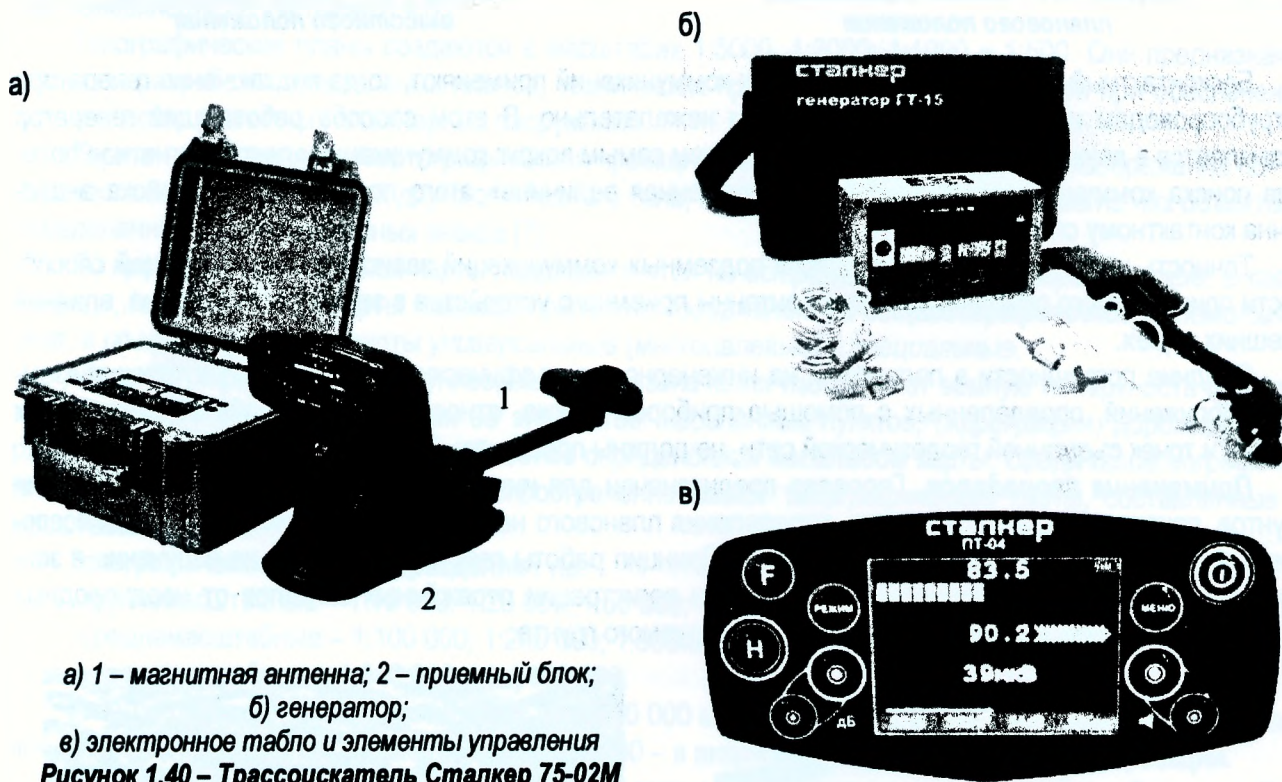
Различают исполнительную съёмку коммуникаций и съёмку существующих коммуникаций. Исполнительная съёмка подземных коммуникаций выполняется после окончания строительства, но до засыпки траншей землей. Съёмку существующих подземных коммуникаций выполняют после сдачи их в эксплуатацию.

Съёмка существующих подземных сетей содержит следующие виды работ: подготовительные; рекогносцировку и обследование; определение местоположения скрытых подземных коммуникаций; создание опорной геодезической сети и планово-высотного съёмочного обоснования; планово-высотную съёмку подземных коммуникаций.

Индуктивный метод основан на применении специальных индуктивных приборов – трубокабелеискатели, которые позволяют определить местоположение и глубину заложения подземной коммуникации. Их используют в период эксплуатации, т.е. когда коммуникации скрыты и на поверхности земли существуют лишь смотровые и регулировочные сооружения [3].

Принцип действия приборов поиска подземных коммуникаций основан на законе электромагнитной индукции и заключается в обнаружении переменного магнитного поля, существующего вокруг токонесущих кабелей или искусственно создаваемого вокруг отыскиваемых металлических трубопроводов.

Все применяемые приборы поиска построены по одному и тому же принципу и различаются лишь схемами и техническими характеристиками. Они состоят из двух отдельных блоков: передающего и приемного. Передающий блок состоит из генератора звуковой частоты и источника электропитания. Приемный блок включает усилитель с электропитанием, ферритовую антенну и воспроизводящее устройство (головные телефоны, микроамперметр или электронное табло) (рис. 1.40).



а) 1 – магнитная антенна; 2 – приемный блок;

б) генератор;

в) электронное табло и элементы управления

Рисунок 1.40 – Трассоискатель Сталкер 75-02М

В контактом способе генератор в удобном месте подключается непосредственно к искомой коммуникации. На расстоянии 8–10 м по направлению, перпендикулярному коммуникации, генератор заземляют.

После соответствующей настройки генератора и включения приемного устройства начинают поиск. Для определения направления трассы антенну разворачивают в горизонтальной плоскости до получения минимального сигнала (наименьшей громкости звучания), тогда направление оси антенны укажет на направление трассы.

В случае поиска по минимуму сигнала результаты местоопределения получаются более точными, при этом рамку поискового контура располагают горизонтально и перпендикулярно к предполагаемому направлению подземной прокладки и перемещают поперек ее (рис. 1.41).

Точку С отмечают краской на поверхности асфальта, колышком на поверхности земли. Для отыскания планового положения трассы оператор движется вдоль объекта, находит и отмечает его точки на поверхности через заданные интервалы и промерами привязывает их к ближайшим местным предметам, показанным на копии плана.

Для определения глубины залегания подземной прокладки антенну закрепляют на подставке с наклоном 45° (рис. 1.42) и перемещают относительно точки С поперек трассы, отмечают точку А, в которой сигнал тоже становится минимальным. Аналогичную точку В находят с противоположной стороны. Расстояние АВ = l = 2 h измеряют рулеткой и находят глубину залегания трубы или кабеля.

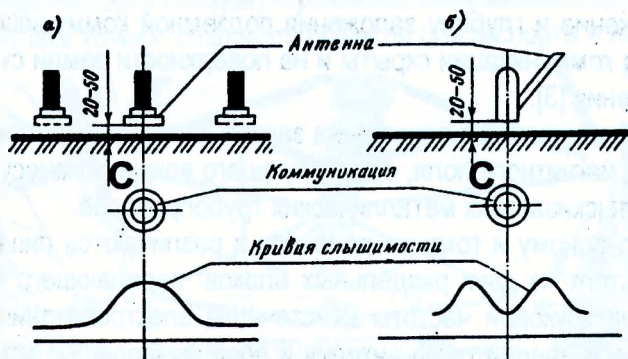


Рисунок 1.41 – Схемы определения планового положения

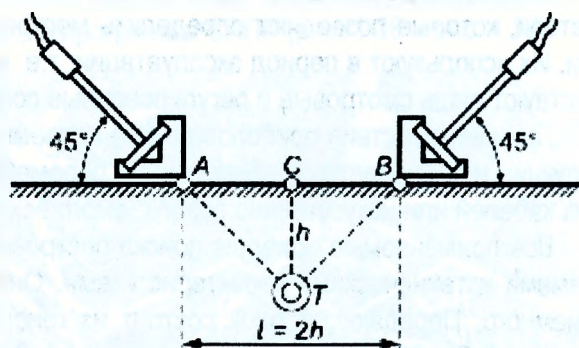


Рисунок 1.42 – Схема определения высотного положения

Бесконтактный способ поиска подземных коммуникаций применяют, когда подключение генератора к трубопроводам и кабелям невозможно или нежелательно. В этом способе работающий генератор заземляется в двух или более точках, создавая тем самым вокруг коммуникации электромагнитное поле. Для поиска коммуникации используется «отраженная величина» этого поля. Методика поиска аналогична контактному способу.

Точность индуктивного метода поиска подземных коммуникаций зависит от разрешающей способности применяемого прибора, установки антенны приемного устройства в заданное положение, влияния внешних помех.

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.

Применение георадаров. Георадар предназначен для инженерно-геотехнического обследования грунтов, поиска подземных объектов, определения планового направления и глубины залегания исследуемых объектов и подземных коммуникаций. Принцип работы георадара основан на излучении в зондируемую среду электромагнитных импульсов и регистрации отраженных сигналов от неоднородных структур и объектов, находящихся в толще сканируемого грунта.

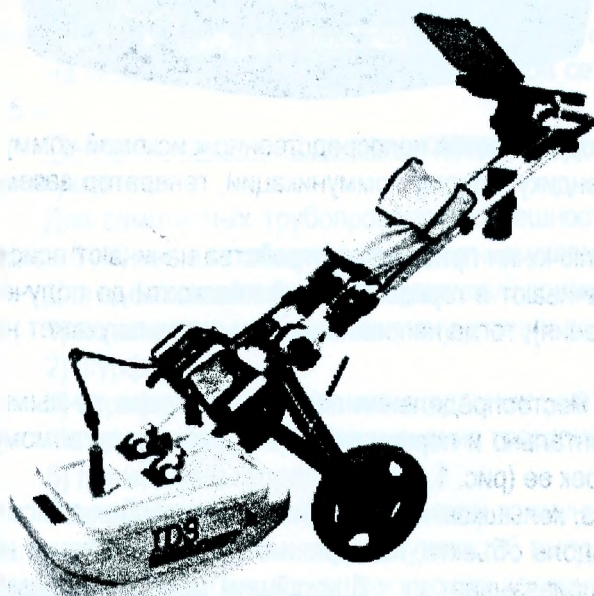
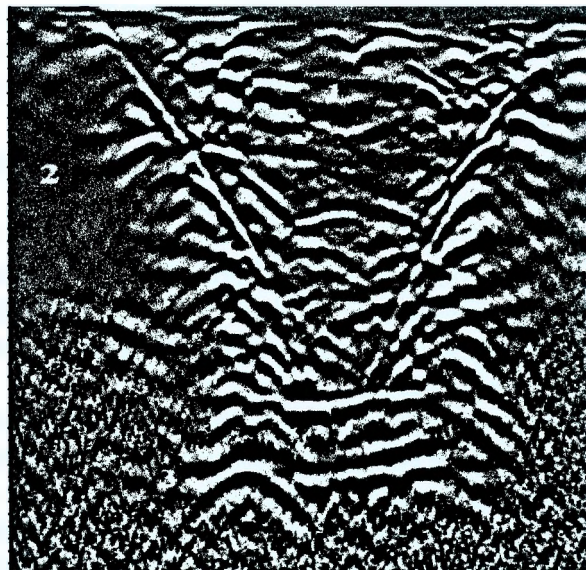


Рисунок 1.43 – Георадар



1 – засыпанная траншея; 2 – песок; 3 – дифрагированная волна (гипербола) от закопанной трубы
Рисунок 1.44 – Фрагмент радарограммы

2. Решение задач по топографическим картам и планам

Общие сведения о топографических картах и планах. Поверхность Земли изображают на плоскости в виде карт, планов, профилей. Топографические карта и план являются уменьшенным изображением земной поверхности на плоскости. При составлении карт и планов сферическую поверхность Земли проецируют на горизонтальную плоскость и полученное изображение уменьшают до требуемого размера.

Для составления топографических планов применяют метод ортогонального проецирования. Его сущность: все точки местности переносят на горизонтальную плоскость по отвесным линиям, параллельным друг другу и перпендикулярным горизонтальной плоскости.

Таким образом, **планом** называют картографическое изображение на плоскости в ортогональной проекции в крупном масштабе ограниченного участка местности, в пределах которого кривизна ровенной поверхности не учитывается [7].

Топографические планы создаются в масштабах 1:5000, 1:2000; 1:1000 и 1:500. Они предназначены для разработки генеральных планов, технических проектов и рабочих чертежей при обеспечении строительства различных инженерных сооружений.

Карта – построенное в картографической проекции, уменьшенное, обобщенное изображение поверхности Земли, поверхности другого небесного тела, показывающее расположенные на них объекты в определенной системе условных знаков [7].

По предмету изображения карты подразделяются на *астрономические* и *географические*. В свою очередь, географические карты подразделяются *по содержанию* на *общегеографические* и *тематические*, а *по назначению* – на карты *универсальные* (многоцелевые) и *специальные*.

Общегеографические карты универсального назначения изображают земную поверхность с обязательным совместным показом всех её элементов: населённых пунктов, гидрографии, дорожной сети, растительного покрова и т.д., с подробностью определённой масштабом карты. Среди общегеографических карт наибольшее значение и распространение имеют топографические карты, составленные в масштабах 1:10 000 – 1:1000 000.

Топографические карты подразделяют на:

- крупномасштабные – 1:10 000; 1:25 000; 1:50 000;
- среднемасштабные – 1:100 000; 1:200 000; 1:300 000;
- мелкомасштабные – 1:500 000 и 1:1 000 000.

Топографические карты в масштабах до 1:500 000 включительно принято составлять в равноугольной проекции Гаусса, а карты масштаба 1:1 000 000 – в видоизменённой поликонической проекции.

В основном, топографические карты создают путем аэрофотосъемки или космической съемки. Для небольших территорий применяют наземные методы топографических съемок.

К специальным картам относят авиационные, гравиметрические и морские; к тематическим – дорожные, рельефные, геологические, почвенные, геоботанические, экономические, синоптические и др.

Понятие о цифровых топографических картах. Лист топографической карты – это результат работы сложного научно-производственного конвейера, в котором реализованы достижения науки и техники нескольких поколений ученых и специалистов разного профиля. К этим достижениям относятся:

- математическая основа, включающая больше десятка картографических проекций,
- система разграфки и номенклатуры,
- наборы условных знаков для всего масштабного ряда карт,
- высокопроизводительные способы съемки местности,
- технология создания оригиналов на жесткой недеформируемой основе,
- способы тиражирования цветных оттисков карт самого разного назначения.

Всеобщая информатизация и компьютеризация проявляются, кроме всего прочего, в создании цифровых моделей самых разных объектов и явлений. В этом смысле топографические карты, являясь графической моделью земной поверхности, уже не удовлетворяют современным требованиям, и основным продуктом топографии становятся цифровые топографические карты.

Цифровая топографическая карта – это набор метрической (числовой), семантической (описательной) и логической информации об участке земной поверхности, хранящийся в закодированном виде

на каком-либо носителе, доступном для компьютера. Компактность хранения информации, оперативность ее обновления и широкий набор возможностей применения ее для решения различных задач – обязательные атрибуты цифровых карт. Существующие технические и программные средства позволяют просматривать и редактировать цифровую карту на экране дисплея, выполнять различные расчеты, готовить и выводить на принтер или плоттер необходимые документы.

В геодезии появился термин ГИС – географическая информационная система. В отличие от других автоматизированных информационных систем в геоинформационных системах используется информация о земной поверхности и об объектах естественного и искусственного происхождения, расположенных на ней и вблизи нее, то есть, информационной основой ГИС являются данные о земной поверхности, представляемые в виде цифровых карт.

Некоторые сферы применения ГИС: инвентаризация и учет природных ресурсов, территориальное управление, ведение различных кадастров (земельного, водного, лесного, городского и др.), управление крупными топливно-энергетическими комплексами, управление транспортом, управление службами безопасности (армия, внутренние войска, МЧС), городское управление, управление недвижимостью и т.д.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1. ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ КАРТЫ И ПЛАНЫ

Задание 1. МАСШТАБЫ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ ПЛАНОВ И КАРТ

Цель работы: познакомиться с топографическими картами; изучить масштабы, применяемые в геодезии; научиться определять расстояния на топографической карте с помощью поперечного масштаба.

Масштабом называется степень уменьшения горизонтального проложения линии местности при изображении её на топографической карте или плане.

Численный масштаб выражают в виде простой дроби 1:М. Например, 1:10 000.

Именованный масштаб – это словесное выражение численного масштаба. Например, для масштаба 1:10 000 именованный будет: в 1 сантиметре 100 метров. При пользовании численным масштабом приходится выполнять вычисления.

Точность масштаба характеризует длина горизонтального проложения линии местности, соответствующая 0,1 мм на карте или плане.

Линейный масштаб удобнее при измерении расстояний по карте. Деления линейного масштаба оцифрованы в метрах в соответствии с численным масштабом карты, для которой он построен.

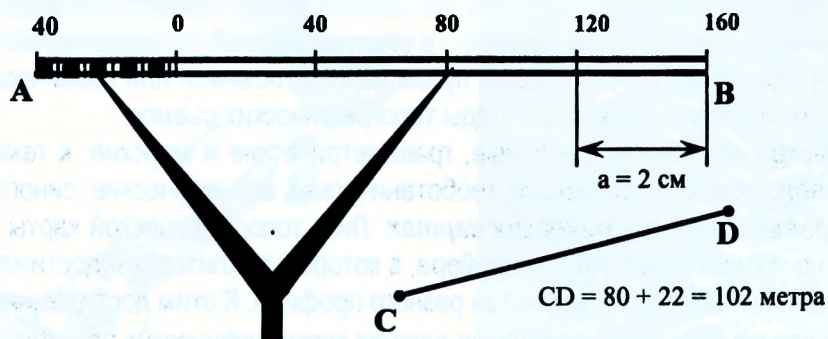


Рисунок 2.1 – Линейный масштаб (1:2000)

Пример 1. Длина отрезка на карте масштаба 1:50000 $d = 4,2$ см. Определить соответствующее горизонтальное проложение $S = 4,2 \text{ см} \cdot 50\,000 = 210\,000 \text{ см} = 2100 \text{ м}$

Пример 2. Длина горизонтального проложения линии местности $S = 897$ м. Определить её длину на карте масштаба 1:25 000. Вычислим $d = S : M = 897 \text{ м} : 25\,000 = 0,03588 \text{ м} = 3,59 \text{ см}$.

Чем меньше знаменатель численного масштаба М, тем крупнее масштаб, и, наоборот, чем больше знаменатель М, тем мельче масштаб.

Поперечный масштаб обеспечивает более высокую точность измерения расстояний, и с помощью него расстояния получают в натуральную величину, т.е. в метрах на местности. Для его построения на прямой линии откладывают последовательно несколько раз основание масштаба a (на рис. 2.2 $a = 2$ см). Основание масштаба также может быть равным 1, 2, 4 и 5 см

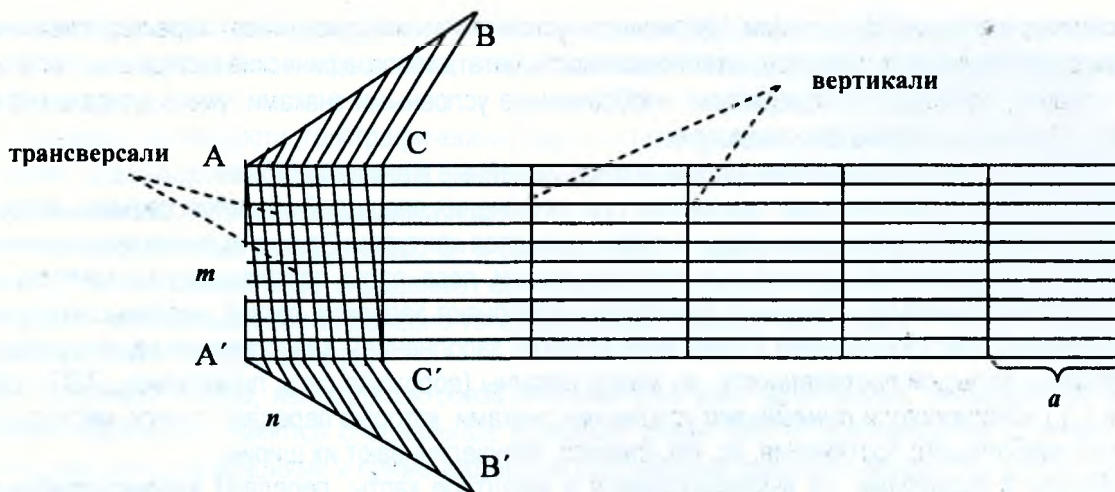
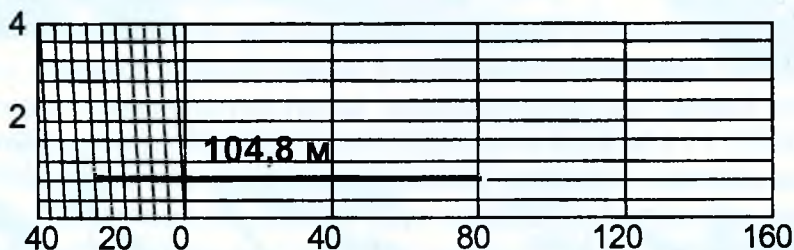


Рисунок 2.2 – Поперечный масштаб

Из полученных точек восстанавливают перпендикуляры, которые называют вертикалями. На крайних вертикалях откладывают m равных отрезков (обычно $m = 10$) и через полученные точки проводят линии, параллельные основанию, – горизонтали. Крайнее левое основание делят на 10 частей методом параллельных линий. Для этого строят вспомогательные отрезки AB и $A'B'$ (рис. 2.2). Вспомогательные отрезки AB и $A'B'$ проводятся произвольной длины и под произвольным углом к основанию. Эти отрезки делят на 10 равных между собой частей. Таким образом, нижнее и верхнее основания делят на 10 равных частей ($n = 10$). Через полученные точки проводят наклонные параллельные линии – **трансверсали**. Таким образом, длина отрезка $a = 2$ см будет называться **основанием масштаба**, длина отрезка $\frac{a}{n} = 2$ мм – **делением масштаба**, а длина отрезка $b = \frac{a}{m \cdot n} = 0,2$ мм – **наименьшим делением масштаба**.

Чтобы определить расстояние между заданными точками на карте или плане, берут это расстояние раствором циркуля-измерителя, который затем переносят на поперечный масштаб, так, чтобы правая ножка находилась на одной из вертикалей, а левая – на одной из трансверсалей. При этом обе ножки должны находиться на одной и той же линии, параллельной горизонтали. Измеренное расстояние равно сумме расстояний, соответствующих числу охваченных раствором измерителя целых оснований, целых делений и наименьших делений, оцениваемых по положению ножки циркуля на трансверсали.



Основание масштаба $a = 2$ см, что на местности соответствует 40 м;
 деление влево от нуля $0,1a = 4$ м; деление вверх $0,01a = 0,4$ м;
 точность масштаба 0,2 м (1/2 меньшего деления)

Рисунок 2.3 – Оцифровка номограммы для масштаба 1:2000

Студентам необходимо подписать номограмму поперечного масштаба в соответствии с численным масштабом 1: 500 и 1:10 000, если основание масштаба составляет 2 см (задание выполнить в рабочей тетради) и построить длины отрезков, заданные преподавателем.

Задание 2. КАРТА, УСЛОВНЫЕ ЗНАКИ И НОМЕНКЛАТУРА

Цель работы: изучить содержание топографических карт, познакомиться с условными знаками и с номенклатурой карт и планов.

Топографическая карта содержит большой объем информации о местности. Содержание карт и планов представляет собой графические символы – условные знаки, внешне напоминающие форму со-

ответствующих элементов ситуации. Наглядность условных знаков раскрывает характер, смысловое содержание изображаемых объектов, дает возможность читать топографические материалы. Читать карту, план – значит, понимать ее содержание, изображенное условными знаками, уметь описать его своими словами. Это весьма важно для инженера.

Условные знаки подразделяют на площадные, линейные и внемасштабные.

Площадные условные знаки применяют для заполнения площадей объектов, размеры которых выражаются в масштабе карты или плана и ограничиваются контурами, т.е. внешними очертаниями (здания, границы предприятий и земельных участков, пашни, леса, сады, пастбища и т.п.). Контур показывает сплошной линией или точечным пунктиром и заполняют заливкой, сеткой, надписью или значками. Контур передает местоположение и очертание объекта, заполнение – качественную характеристику.

Объекты большой протяженности, но малой ширины (дорожная сеть, линии связи, ЛЭП, трубопроводы и т.п.) изображаются **линейными** условными знаками, которые передают точное местоположение по оси их наибольшего протяжения, но, как правило, преувеличивают их ширину.

Объекты с размерами, не выражающимися в масштабе карты, передают **внемасштабными** условными знаками, которые позволяют отображать их местоположение и различные характеристики, но по ним нельзя судить о их размерах. Такими условными знаками изображают мосты, отдельно стоящие деревья, колодцы, отдельно лежащие камни, памятники и др.

На картах различного назначения и масштаба одни и те же объекты могут изображаться как площадным, так и внемасштабным знаком. Например, населенные пункты на топографических картах показываются площадными знаками, а на мелкомасштабных географических картах, как правило, внемасштабными. Также один и тот же объект на крупномасштабных топографических картах в зависимости от масштаба может изображаться по-разному.



Пояснительные надписи представляют собой цифровые данные, характеризующие элементы ситуации: габарит и грузоподъемность мостов, скорость и направление течения водотоков, средние размеры деревьев и т.д.

Для большей наглядности топографические карты и планы издаются многокрасочными. Элементы гидрографии показывают голубым цветом, растительность – зеленым, рельеф – горизонталями и условными знаками светло-коричневого цвета и др.

Условные обозначения разрабатываются в соответствии со назначением и содержанием создаваемой карты и в значительной мере определяют ее читаемость, легкость усвоения ее содержания. В настоящее время при оформлении инженерно-топографических планов масштабов 1:1000, 1:500 и 1:200 используется ТКП 45-1.02-293-2014 [4].

Кроме условных знаков, являющихся обязательными для всех организаций, выпускающих картографические материалы, имеются специальные условные знаки. Они устанавливаются соответствующими отраслевыми организациями и применяются для составления специализированных карт и планов.

При решении многих инженерных задач, особенно на стадии проектирования будущего строительства, составляют топографическое описание местности.

В описание включают следующие сведения:

1. Масштаб и номенклатура карты.
2. Наличие пунктов геодезической основы, их количество, расположение и характеристики сети.
3. Сведения о населенных пунктах (численность населения, число домов в сельских населенных пунктах, общая планировка застройки, важнейшие объекты, такие как больницы, школы и т.д.).
4. Характеристика рельефа местности (наибольшие и наименьшие высоты, наличие оврагов и других заметных форм рельефа).
5. Наличие гидрографии (реки и их характеристики, озера, ручьи, колодцы, ключи и т.д.).
6. Сведения о путях сообщения (автомобильные и железные дороги).
7. Описание растительности (лесных массивов с указанием пород деревьев, высоты их и толщины, расстояния между деревьями, а также других контуров растительности).

При составлении описания следует внимательно изучить каждый условный знак в границах участка, расшифровать его смысл, с привлечением книги условных знаков. *Только на учебных топографических картах условные знаки указывают на полях.*

Понятие о номенклатуре топографических карт. Территория государства на топографических картах изображается по частям на отдельных листах. Размеры листов выбирают таким образом, чтобы ими было удобно пользоваться. Поэтому топографические карты различных масштабов объединены между собой единой системой разграфки и номенклатуры.

Номенклатурой топографической карты называется система обозначений отдельных листов карт различных масштабов. Взаимное их расположение устанавливается **системой разграфки**.

За основу разграфки и номенклатуры листов топографических карт принята международная разграфка листов карты масштаба 1:1 000 000. Номенклатуру карты масштаба 1:1 000 000 получают путем условного деления поверхности земного шара параллелями, начиная от экватора, через 4° и меридианами, начиная от 180° . При делении поверхности шара параллелями получают ряды, которые, начиная от экватора, обозначаются заглавными буквами латинского алфавита от А до V (рис. 2.5).

При делении поверхности земного шара меридианами получают колонны, они нумеруются арабскими цифрами, начиная от меридиана с долготой $\lambda = 180^\circ$, через 6° , таким образом, нумерация колонн и зон отличается на 30 единиц. Так, зона № 1 находится между долготами $\lambda = 0^\circ$ и $\lambda = 6^\circ$, а колонна № 1 расположена между долготами $\lambda = 180^\circ$ и $\lambda = 186^\circ$. Лист карты масштаба 1:1 000 000 ограничивается по долготе $\Delta\lambda = 6^\circ$ и по широте $\Delta\varphi = 4^\circ$, номенклатура этих листов образуется из буквы ряда и номера колонны (рис. 2.5). Следовательно, зная номенклатуру листа можно определить географические координаты углов его трапеции и наоборот.

Например, лист миллионной карты, на которой расположен Санкт-Петербург, имеет номенклатуру О–36; Москва – N–37; Минск – N–35.

Между номенклатурой 6-ти градусных зон в проекции Гаусса и нумерацией миллионных листов карт существует постоянная зависимость по долготе: номер миллионного листа карты на 30 номеров больше номера зоны, т.е. О–36 (номер зоны 6), N–37 (номер зоны 7). В каждом листе карты масштаба 1:1 000 000 содержится целое число карт более крупных масштабов.

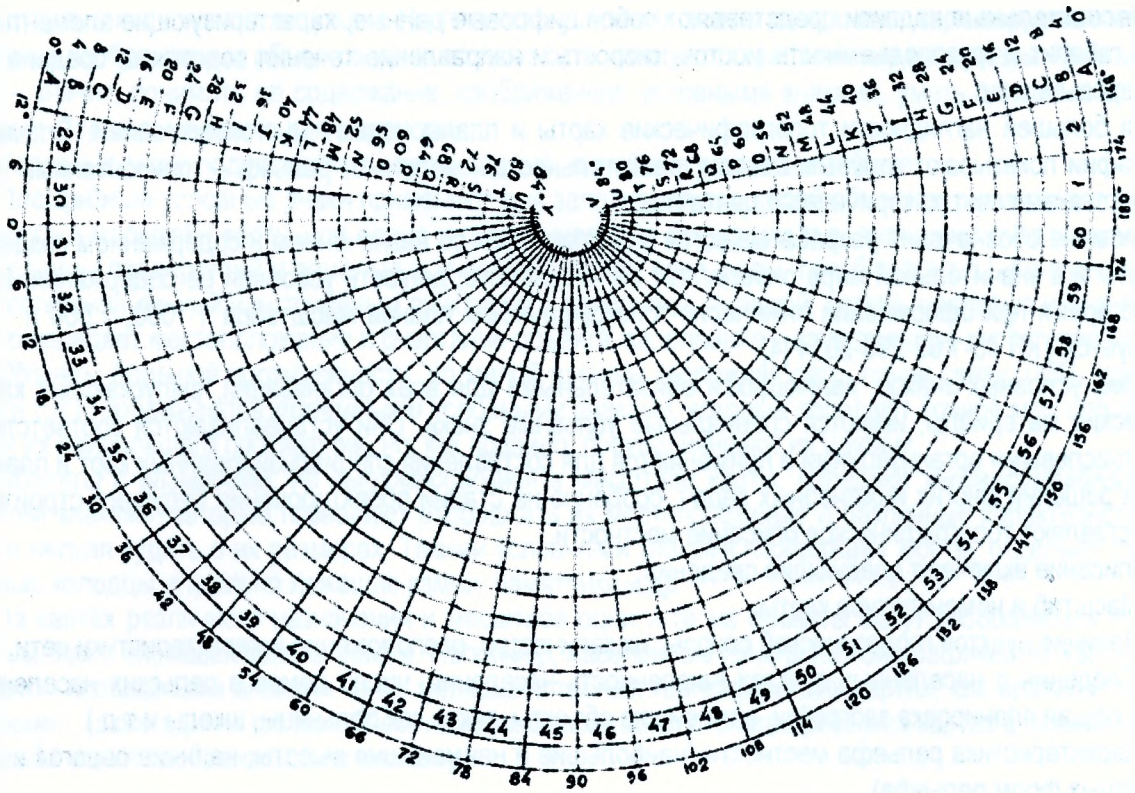


Рисунок 2.5 – Схема листов карты масштаба 1: 1 000 000

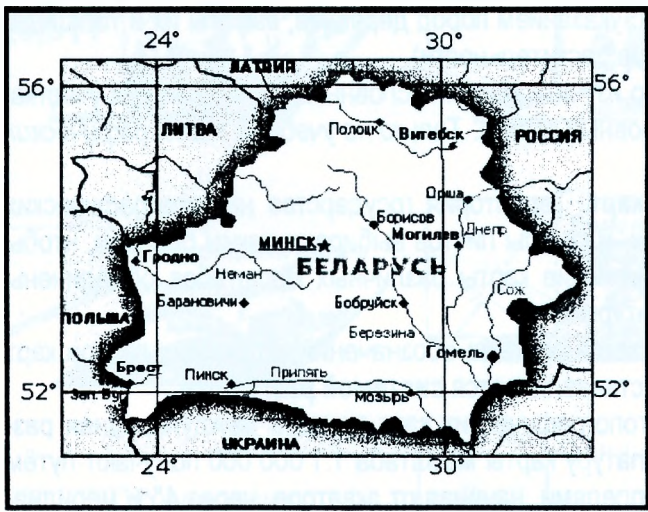


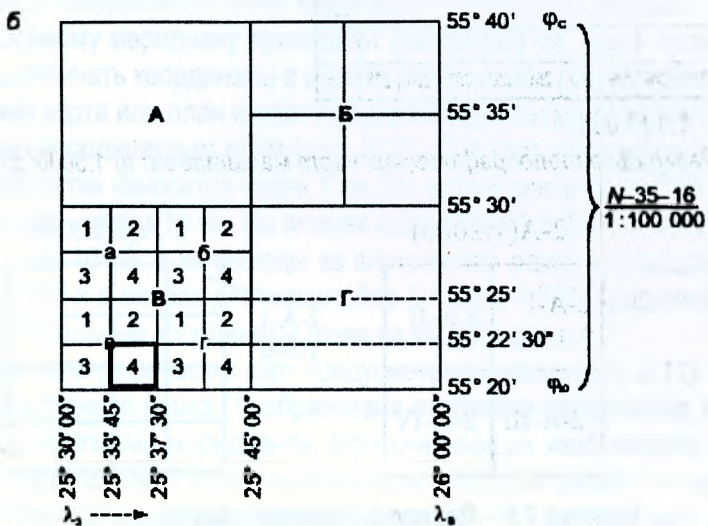
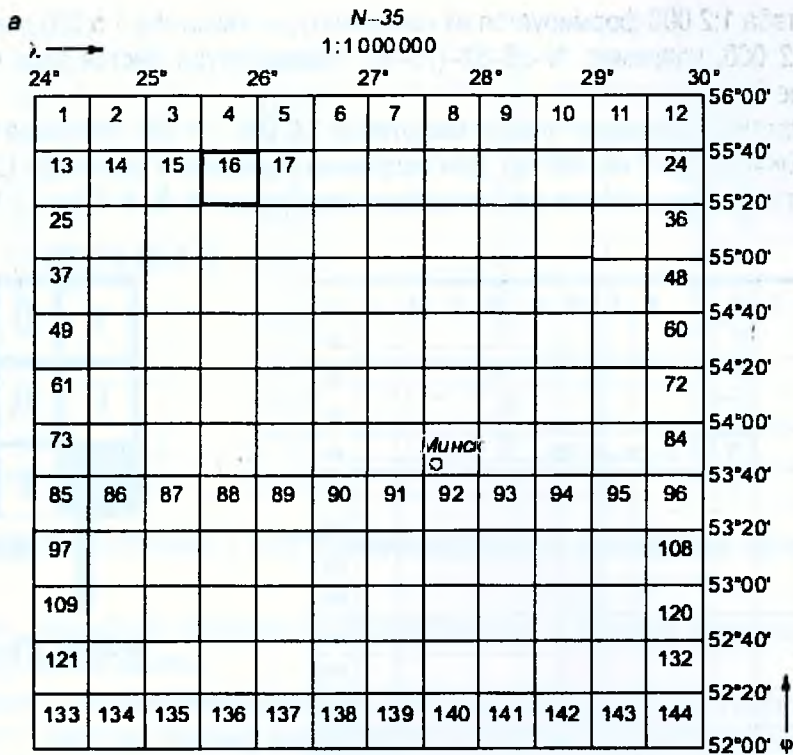
Рисунок 2.6 – Географическое расположение РБ

Республика Беларусь ограничивается меридианами $\lambda \approx 23,6^\circ$ с запада и $\lambda \approx 32,8^\circ$ с востока; широтами $\varphi \approx 56^\circ$ с севера и $\varphi \approx 51,2^\circ$ с юга, т.е. она расположена на 7 листах миллионного масштаба. Основная часть территории Беларуси находится в ряду N ($\varphi = 52^\circ - 56^\circ$) (рис. 2.5), колонне N-35 ($\lambda = 24^\circ - 30^\circ$). Номенклатура такого листа будет N-35, с юга, запада и востока часть Беларуси находится в рядах M и N, колоннах 34, 35, 36.

Территория РБ расположена на 7-ми листах миллионного масштаба с номенклатурой N-35 – центральный лист, с запада от него N-34; с востока N-36; с юга M-35; с юго-запада M-34; с юго-востока M-36 и с севера O-35.

В основу разграфки и номенклатуры карт масштаба 1:100 000 и крупнее положена карта масштаба 1:1 000 000. Рассмотрим пример определения номенклатуры листов карт разных масштабов, на которых расположена точка с географическими координатами: широта $\varphi = 55^\circ 21'$; долгота $\lambda = 25^\circ 35'$. Разделив карту масштаба 1:1 000 000 по широте и долготе на 12 равных частей, получают границы 144 листов карты масштаба 1:100 000, которые нумеруют, как показано на рис.2.7 а. Номенклатура каждого листа складывается из номенклатуры листа масштаба 1:1 000 000 и номера листа 1:100 000. Так, номенклатура выделенного на рисунке листа с номером 16 будет N-35-16 (рис. 2.7, а).

Для получения листа карты 1:50 000 лист карты масштаба 1:100 000 делят на 4 части, которые обозначают заглавными буквами А, Б, В, Г (рис. 2.7, б). Например, лист карты масштаба 1:50 000 имеет номенклатуру N-35-16-В. Далее лист карты масштаба 1:50 000 делят на 4 части и получают карту 1:25 000, части обозначают буквами а, б, в, г (например, N-35-16-В-в). Листы карт масштаба 1:25 000 делят на четыре части и получают листы масштаба 1:10 000, которые нумеруют 1, 2, 3, 4. Например, N-35-16-В-в-4 (рис. 2.7, б).



а) 1:100000; б) 1:50000, 1:25000, 1:10000

Рисунок 2.7 – Разграфка топографических карт масштабов

Таблица 2.1 – Номенклатура листов карт крупных масштабов и размеры рамок

Масштаб	Номенклатура	Размеры		Число листов в карте 1:100000
		по параллели (по широте)	по меридиану (по долготе)	
1:1000000	N-37	4°	6°	–
1:100000	N-37-1	0° 20'	0° 30'	–
1:25000	N-37-1-A-a	5'	7' 30"	16
1:10000	N-37-1-A-a-1	2' 30"	3' 45"	64
1:5000	N-37-1-(256)	1' 15"	1' 52,5"	256
1:2000	N-37-1-(256-и)	0' 25"	0' 37,5"	2304

Для получения листов карты масштаба 1:5 000 лист масштаба 1:100 000 делят на 256 частей (16×16), которые нумеруются, как показано на рис. 2.8, а. Номенклатура листа масштаба 1:5 000 складывается из номенклатуры листа масштаба 1:100 000 и взятого в скобки номера листа масштаба 1:5 000, например, N-35-87 (70).

Для разграфки листов карты масштаба 1:2 000 за основу принимают лист масштаба 1:5 000, который делят на 9 частей (3×3) и обозначают строчными буквами русского алфавита (рис. 2.8, б.). Номенк-

латура листа масштаба 1:2 000 формируется из номенклатуры масштаба 1:5 000 с прибавлением буквы листа масштаба 1:2 000, например, N-35-87-(70-ж). Номенклатура листов карт крупных масштабов приведена в таблице 2.1.

За основу квадратной разграфки планов масштабов 1:5 000 – 1:500 принимают планшет 1:5 000 с размерами рамок 40×40 см (2×2 км, 400 га). Для получения планшета в масштабе 1:2 000 планшет масштаба 1:5 000 делят на 4 части, обозначаемые заглавными буквами А, Б, В, Г (рис. 2.9).

а) N-35-87 (70)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
17															32	
33															48	
49															64	
65					70	N-35-87 (70)										80
81															96	
97															112	
113															128	
129															144	
145															160	
161															176	
177															192	
193															208	
209															224	
225															240	
241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	

1:100 000

б) N-35-87 (70)



1:5000

N-35-87 (70-ж) – 1:2000

Рисунок 2.8 – Разграфка топографических карт масштабов: а) 1:5000; б) 1:2000

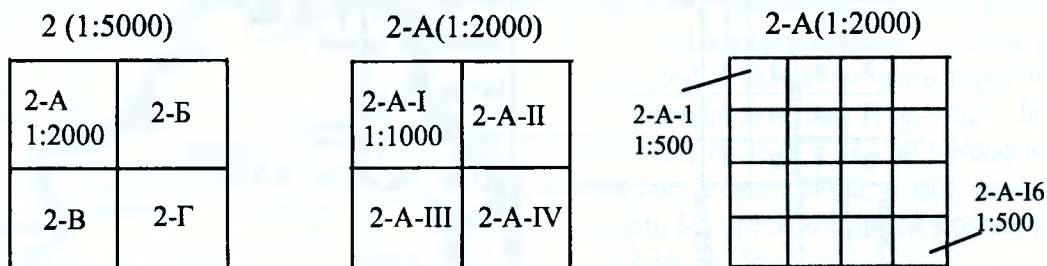


Рисунок 2.9 – Пример разграфки планов

Исходные данные для выполнения расчетно-графической работы «Определение номенклатуры топографической карты масштаба 1:10 000 по заданным географическим координатам точки» приведены в таблице 2.2.

Задания для самостоятельной работы:

- а) определить номенклатуру листа карты масштаба 1:10 000 и сделать схемы по аналогии с рис. 2.7;
- б) определить номенклатуру листов карт, прилегающих по рамкам трапеции листа карты заданного масштаба.

Например, для того чтобы определить номенклатуру восьми листов карты масштаба 1:100 000, прилегающих к листу N-35-84 – лист 84 находится в 7 сверху ряду листов стотысячной карты на миллионном листе N-35. К нему прилегают листы N-35-72, N-35-71, N-35-83, N-35-96, N-35-95 (рис. 2.7, а). Справа от листа N-35-84 располагается лист карты масштаба 1:1000 000 N-36, и прилегающими листами будут N-36-73, N-36-61, N-36-85.

Таблица 2.2 – Географические координаты точки, на участке местности

Вариант	Географические координаты точки		Вариант	Географические координаты точки	
	широта φ	долгота λ		широта φ	долгота λ
1	52° 02'	17° 43'	16	67° 48'	39° 17'
2	52° 19'	26° 09'	17	65° 03'	37° 27'
3	54° 48'	41° 11'	18	55° 21'	28° 01'

Продолжение таблицы 2.2

4	54° 43'	34°34'	19	55° 16'	37°13'
5	58° 01'	37°48'	20	56° 17'	27°44'
6	58° 13'	35°05'	21	54° 44'	22°14'
7	58°17'	24°41'	22	59° 30'	24°03'
8	60° 24'	36°25'	23	58° 28'	33°31'
9	62°19'	40°33'	24	64°11'	18°03'
10	63°04'	31°47'	25	54° 48'	25°25'
11	53° 17'	19°55'	26	61°16'	21°19'
12	53° 07'	28°55'	27	62°26'	43°27'
13	61°28'	25°05'	28	53°35'	19°17'
14	67°59'	26°54'	29	60°31'	23°45'
15	65°51'	42°16'	30	66°33'	27°27'

Задание 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ И ПЛОСКИХ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ КООРДИНАТ

Цель работы: научиться определять географические и плоские прямоугольные координаты точек на топографической карте.

Географическая и километровая сетка на топографических картах. Территория Беларуси расположена к северу от экватора, поэтому все абсциссы в пределах нашей страны всегда положительны, ординаты же в каждой координатной зоне могут быть как положительными, так и отрицательными. Поэтому ординату по осевому меридиану принимают равной 500 км. Такие ординаты называются преобразованными, а чтобы отличать координаты в разных зонах, перед ординатой ставится номер зоны.

Топографическая карта или план имеют **координатную сетку**, которая представляет собой систему линий, параллельных координатным осям (рис. 2.10). Для карт масштабов 1:50 000 и крупнее километровая (координатная) сетка наносится через 1 км. На картах масштаба 1:100 000 – через 2 километра, а на картах более мелких – через 10 км. На планах масштабов 1:5 000 – 1:500 линии прямоугольных координат проводятся через 10 см, а их выходы за внутреннюю рамку подписывают в километрах для масштабов 1:5 000 – 1:2 000 и в метрах для масштабов 1:1000 и 1:500. Координатная сетка позволяет определять плоские прямоугольные координаты точек на карте.

При оформлении топографических карт предусмотрены рамки (рис. 2.11): *внутренняя – 1; внешняя – 2 и минутная – 3*. Внутренняя рамка (1) образована отрезками параллелей, ограничивающих изображение с севера и юга и отрезками меридианов, ограничивающих изображение с запада и востока. Значения широт и долгот подписывают во всех углах карты, которые зависят от номенклатуры карты. Между внутренней и внешними рамками расположена минутная (3), на северной и южной сторонах которой нанесены деления, соответствующие одной минуте долготы, на западной и восточной сторонах – деления, соответствующие одной минуте широты. Между внешней и минутными рамками нанесены точки, которые делят минутные деления на 6 частей, т.е. на десятисекундные деления. Наличие на карте минутной рамки позволяет определять географические координаты точек, расположенных на ней.

Индивидуальное задание каждому студенту: *Определить плоские прямоугольные координаты точки, используя поперечный масштаб и измеритель, и географические координаты.*

а) определение плоских прямоугольных координат точек на топографическом плане масштаба 1:500. На топографическом плане ось X направлена вертикально (вверху плана – север), ось Y направлена на восток – горизонтально. Координатная сетка на топографическом плане любого масштаба имеет размер 10x10 см. Координаты X, Y (в метрах) записаны в углах плана в местной системе координат.

Таблица 2.3 – Пример записи координат на топографическом плане

Наименование точки	$X_0, м$	$\Delta x, м$	$x, м$	$Y_0, м$	$\Delta y, м$	$y, м$
угол здания	+79800	21,15	+79821,15	+66150	32,50	+66182,50

б) определение географических и прямоугольных координат точки в системе координат Гаусса-Крюгера по топографической карте У-34-37-В-в-4 масштаба 1:10000.

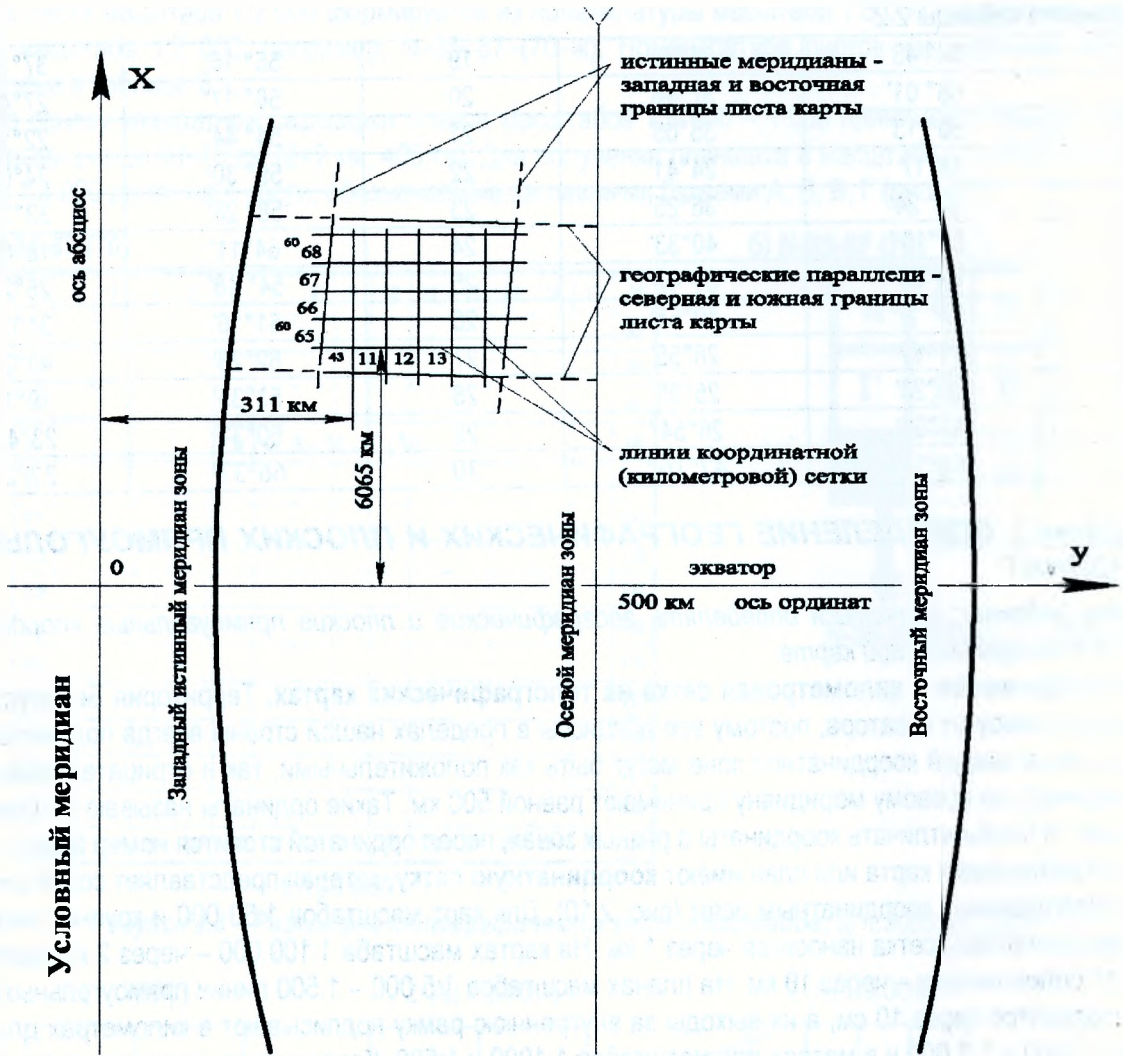


Рисунок 2.10 – Координатная сетка

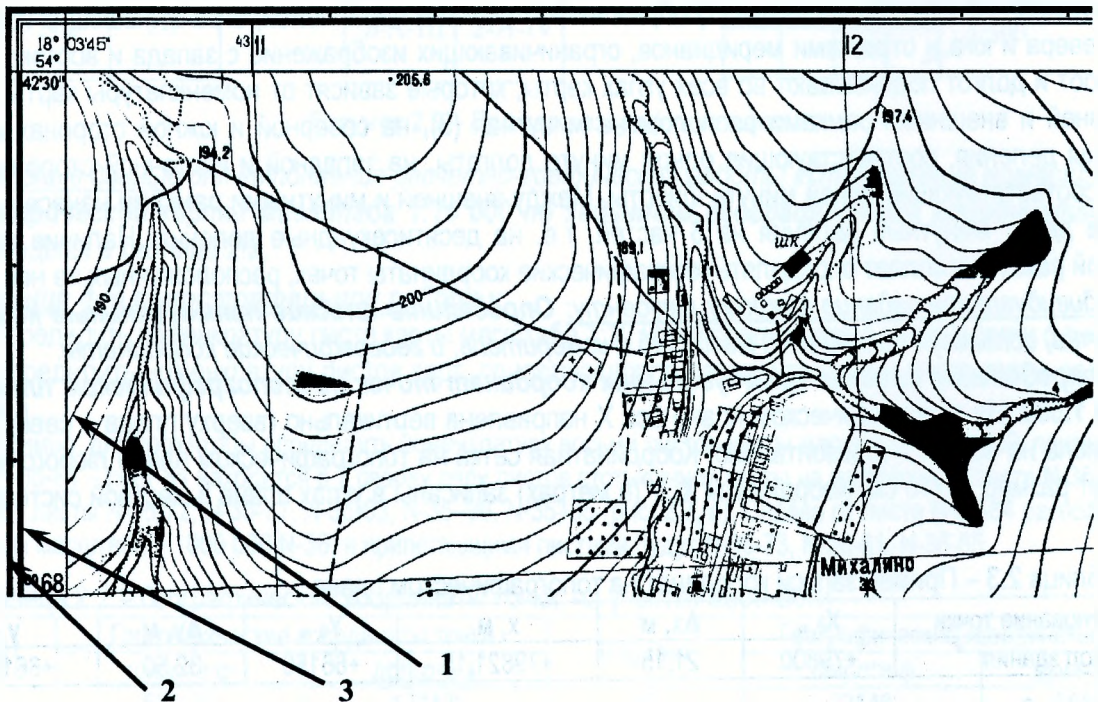


Рисунок 2.11 – Оформление угла карты

Определение географических координат выполняют восстанавливая перпендикуляры на рамку карты. По параллелям подписана широта, по меридианам долгота. В углах карты указаны численные значения широт и долгот. Определяют географические координаты пользуясь внутренней линией рамки карты (с разметкой минут), между внутренней и наружной рамкой имеется десятисекундная разметка в виде точек, которые делят минуту на шесть равных частей, секунды берут на глаз. Например, на рис. 2.12 географические координаты точки Р таковы: широта $\varphi = 54^{\circ}41'17''$ и долгота $\lambda = 18^{\circ}05'25''$.

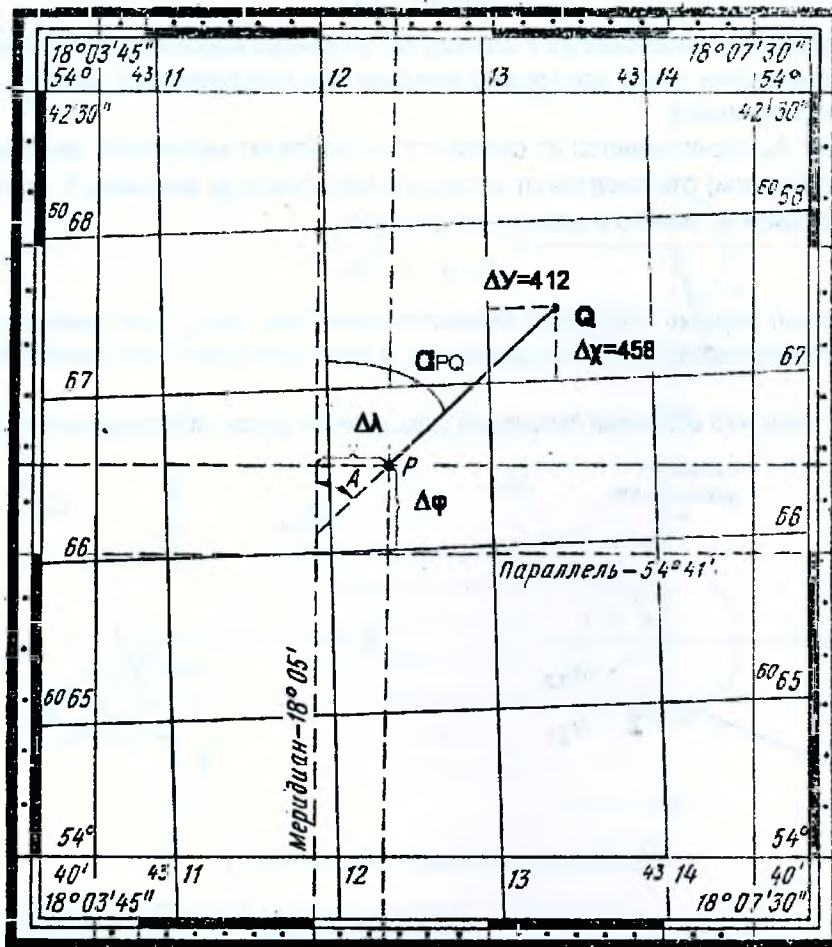


Рисунок 2.12 – Определение координат и дирекционных углов

Определение плоских прямоугольных координат. Принимая за оси координат ближайшие километровые координатные линии, опускают на них из определяемой точки перпендикуляры Δx и Δy . Для определения координат точки Q, пользуясь координатной сеткой, определяют координаты юго-западного угла квадрата в котором находится точка (на рис. 2.12 $X_0 = 6067$ км; $Y_0 = 4313$ км – здесь следует помнить, что цифра 4 перед ординатой обозначает номер зоны, в которой расположена точка). Далее измеряют отрезки Δx и Δy , пользуясь поперечным масштабом, и вычисляют прямоугольные координаты определяемой точки:

$$X = X_0 + \Delta x = 6067000 + 458 = 6067458 \text{ м};$$

$$Y = Y_0 + \Delta y = 4313000 + 412 = 4313412 \text{ м}.$$

Задание 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОРИЕНТИРНЫХ УГЛОВ

Цель работы: измерить на карте дирекционный угол с помощью геодезического транспортира и, используя формулы, перейти к истинному и магнитному азимутам, вычислить румб.

Дирекционный угол α – это угол, отсчитываемый от северного направления осевого меридиана или линии, ему параллельной, по ходу часовой стрелки до заданного направления. На картах линии километровой сетки параллельны осевому меридиану зоны. Поэтому дирекционный угол измеряют транспортиром от северного направления линий километровой сетки по ходу часовой стрелки до заданного направления.

Дирекционный угол обратного направления можно вычислить по формуле: $\alpha_{обр} = \alpha_{пр} \pm 180^\circ$

Истинный азимут A отсчитывается от северного направления истинного (географического) меридиана по ходу часовой стрелки и отличается от дирекционного угла α на величину γ – сближение меридианов, т.е. на величину угла между географическим меридианом и линией километровой сетки (осевым меридианом зоны). Формула связи дирекционного угла и истинного азимута:

$$A = \alpha + (\pm\gamma).$$

Если осевой меридиан зоны отклоняется к востоку от истинного меридиана, то сближение меридианов считается положительным (знак плюс), если осевой меридиан зоны отклоняется к западу – сближение меридианов отрицательное (знак минус).

Магнитный азимут A_m отсчитывается от северного направления магнитного меридиана. Магнитная стрелка (компаса или буссоли) отклоняется от истинного меридиана на величину δ – склонение магнитной стрелки. Формула связи истинного и магнитного азимутов:

$$A = A_m + (\pm\delta).$$

Склонение магнитной стрелки считается положительным (знак плюс), если магнитный меридиан отклоняется на восток относительно истинного меридиана, а отрицательное – если магнитный меридиан отклоняется на запад.

Следует иметь в виду, что величина склонения указывается здесь на определенную дату.

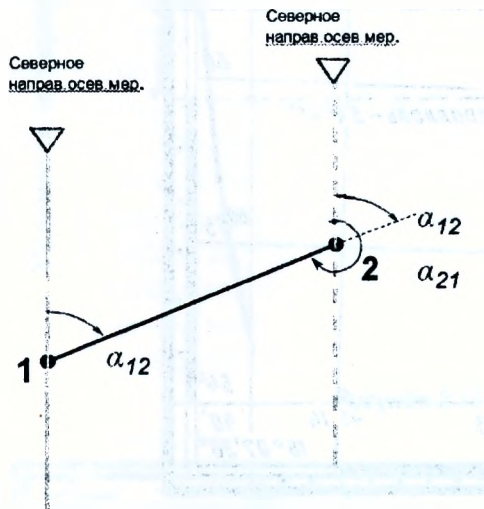


Рисунок 2.13 – Связь прямых и обратных дирекционных углов

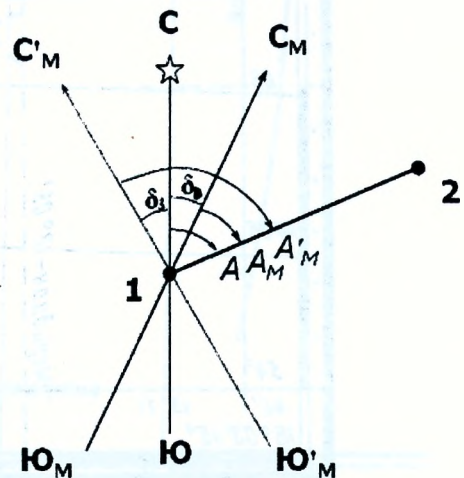


Рисунок 2.14 – Связь истинного и магнитного азимутов

Если после этой даты прошло несколько лет, то необходимо учесть годовое изменение склонения, величина и направление которого также приводятся. При необходимости величина сближения меридианов в заданной точке может быть вычислена по формуле $\gamma = \Delta\lambda \cdot \sin \varphi$, где $\Delta\lambda$ – разность долготы данной точки и долготы осевого меридиана; φ – широта точки.

Долгота осевого меридиана составляет $\lambda_0 = 6^\circ \cdot n - 3^\circ$, где n – номер зоны.

Зная хотя бы один из ориентирных углов, другие можно вычислить по формулам.

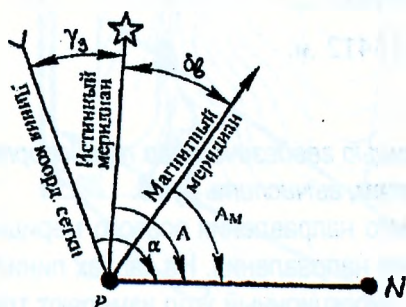


Рисунок 2.15 – Схема расположения меридианов на карте и ориентирные углы

Значение углов сближения меридианов и склонения магнитной стрелки приводятся под южной рамкой карты.

На рис. 2.15 показана схема расположения меридианов на учебной топографической карте масштаба 1:10 000 и ориентирные углы для направления PN. Здесь склонение магнитной стрелки восточное; сближение меридианов западное.

На топографической карте дирекционный угол можно измерить с помощью транспортира (рис. 2.12).

Магнитный азимут определяют на местности в процессе угловых измерений, прикрепив к теодолиту магнит-

ную ориентир-буссоль, а истинный азимут определяют из высокоточных астрономических наблюдений днем по Солнцу или ночью по Полярной звезде, также истинный азимут можно определить с помощью гиротеодолита.

Связь дирекционных углов с румбами. Румбом r называется горизонтальный угол между направлением ориентируемой линии и ближайшим (северным или южным) направлением меридиана. Величина румба сопровождается названием из двух букв, обозначающих стороны света и указывающих направление линии: например, СЗ: $42^{\circ}12'$. Связь между дирекционными углами и румбами показана на рис. 2.16 и в табл. 2.4.

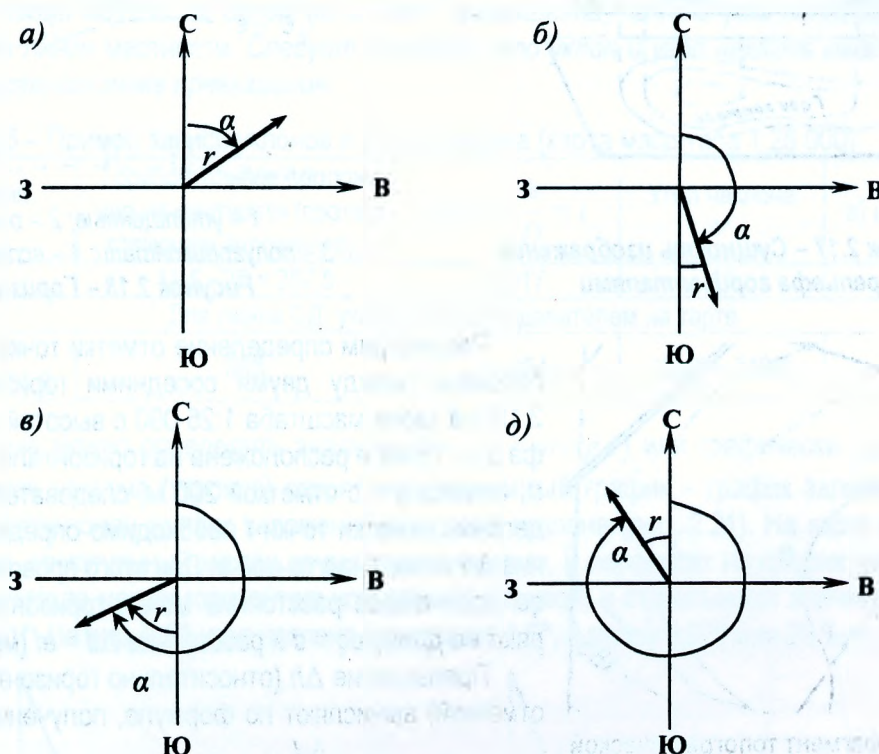


Рисунок 2.16 – Румбы направлений

Таблица 2.4 – Связь между дирекционными углами и румбами

Дирекционные углы	Румбы
$0 - 90^{\circ}$	СВ: $r = \alpha$ (рисунок 2.16, а)
$90 - 180^{\circ}$	ЮВ: $r = 180^{\circ} - \alpha$ (рисунок 2.16, б)
$180 - 270^{\circ}$	ЮЗ: $r = \alpha - 180^{\circ}$ (рисунок 2.16, в)
$270 - 360^{\circ}$	СЗ: $r = 360^{\circ} - \alpha$ (рисунок 2.16, д)

Задание 5. ИЗУЧЕНИЕ СПОСОБОВ ИЗОБРАЖЕНИЯ РЕЛЬЕФА. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТМЕТКИ, УКЛОНА И УГЛА НАКЛОНА ПО ЛИНИИ МЕСТНОСТИ

Рельефом земной поверхности называется совокупность неровностей физической поверхности Земли. На топографических картах и планах рельеф изображают горизонталями, отметками и специальными условными знаками (овраг, промоина, яма, курган и др.).

Высота сечения рельефа – заданное расстояние между соседними секущими уровнями поверхностями при изображении рельефа горизонталями.

Горизонтали (изогипсы) – замкнутые кривые линии, соединяющие точки с одинаковой высотой над уровнем моря и в совокупности отображающие рельеф местности (рис. 2.17). Горизонтали бывают основные, утолщенные, полу горизонтالي проводятся в половине основного сечения и вспомогательные или четвертьгоризонтالي – в $\frac{1}{4}$ высоты сечения (рис. 2.18).

а) определить отметки точек А и В (заданных преподавателем на топографической карте масштаба 1:10 000), расположенных между двумя горизонталями, при высоте сечения $h = 2,5$ м.

Отметка – это численное значение высоты точки земной поверхности в принятой системе высот (в Балтийской системе высот).

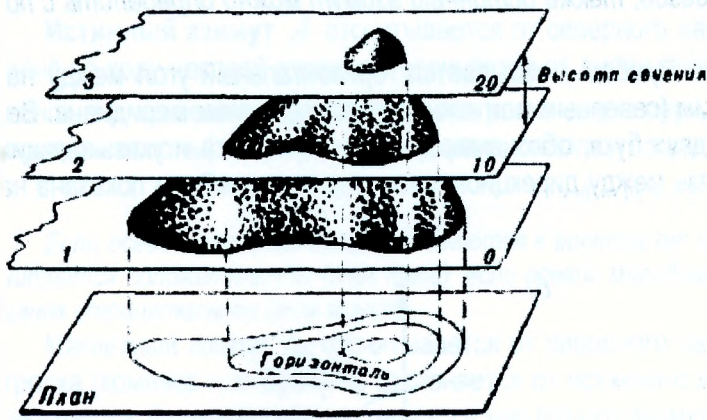
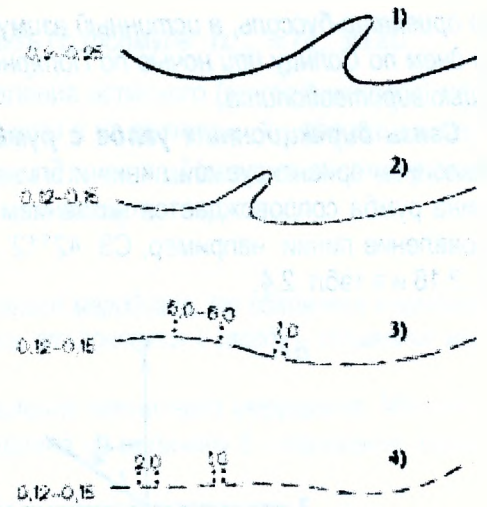


Рисунок 2.17 – Сущность изображения рельефа горизонталями



1 – утолщенные; 2 – основные; 3 – полугоризонтالي; 4 – вспомогательные
Рисунок 2.18 – Горизонтали

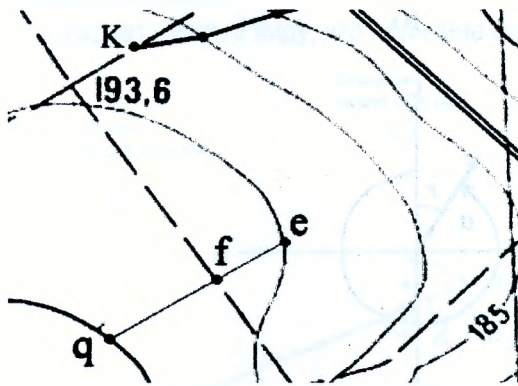


Рисунок 2.19 – Фрагмент топографической карты с высотой сечения рельефа 5 м

Рассмотрим определение отметки точки f , которая расположена между двумя соседними горизонталями (рис. 2.19) на карте масштаба 1:25 000 с высотой сечения рельефа 5 м. Точка e расположена на горизонтали с отметкой 195 м, а точка q – с отметкой 200 м, следовательно, для определения отметки точки f необходимо определить превышение Δh точки f над точкой e . Для этого проводят линию ската qe (кратчайшее расстояние между горизонталями) и измеряют ее длину $eq = d$ и расстояние $\Delta d = ef$ (можно в мм).

Превышение Δh (относительно горизонтали с меньшей отметкой) вычисляют по формуле, полученной из решения пропорции: $\Delta h = \frac{\Delta d}{d} \cdot h$.

Отметка точки равна $H_{\text{точки}} = H_{\text{меньш.гор.}} + \Delta h$. Тогда на рис. 2.19 отметка точки f равна $H_f = H_e + \Delta h$.

Для определения отметки точки, расположенной между двумя соседними горизонталями, надо определить отметки этих горизонталей, а также измерить заложение (кратчайшее расстояние между горизонталями) и расстояние от горизонтали с меньшей отметкой до определяемой точки, с точностью до 0,1 мм. Значения отметок в Балтийской системе высот записать в табл. 2.5 с точностью 0,1 м.

Таблица 2.5 – Пример определения отметки точки на топографической карте

№ точки	Отметки горизонталей		Расстояния		Высота сечения h , м	Δh , м	Отметка точки H , м
	H_1 , м	H_2 , м	заложение d , мм	Δd , мм			
точка f	195,0	200,0	11,5	4,3	5,0	1,9	196,9

б) определить угол наклона и уклон линии

Уклон i – это тангенс угла наклона линии к горизонту, или отношение превышения h между точками к горизонтальному проложению d в метрах на местности, т.е.

$$i_{AB} = \text{tg } \nu = \frac{h}{d} = \frac{H_B - H_A}{d_{AB}}$$

где ν – угол наклона; h – превышение между концами отрезка; d – горизонтальное проложение отрезка.

Уклон является численной характеристикой крутизны ската и выражается в натуральных значениях тангенса угла наклона или в промилле (‰). Для определения уклона отрезка d_{AB} (рис. 2.20) измеряют его длину на карте (11,5 мм) и определяют горизонтальное проложение на местности, например, учитывая масштаб карты $d = 11,5 \cdot 25000 = 287500 \text{ мм} = 287,5 \text{ м}$.

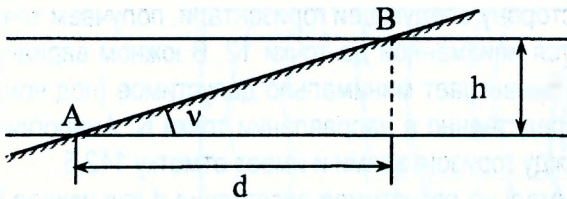


Рисунок 2.20 – Схема определения угла наклона

те или плану отметки концов линии, точек С и Д, расстояние (горизонтальное проложение) между этими точками в метрах на местности. Затем вычисляют превышение, тангенс угла наклона, а затем уклон и угол наклона по линии местности. Следует помнить, что уклон и угол наклона имеют знаки «+» или «-» в зависимости от знака превышения.

Таблица 2.6 – Пример записи уклонов и углов наклона (карта масштаба 1:25 000)

Высота сечения h , м	Горизонтальное проложение на местности (соответствующее заложению), м	$tg v = \frac{h}{D} = i$	Угол наклона v	Уклон i а) натуральное число б) в промилле
5,0	$11,5 \cdot 25 = 287,5$	0,017	1°	$0,017 \cdot 17 \text{‰}$
Для линии СД, указанной преподавателем на карте				
$h = H_d - H_c = 188,2 - 220,0 = -31,8$	585	-0,054	$-3,1^\circ = -3^\circ 06'$	$-0,054 \cdot 54 \text{‰}$

Углы наклона можно определять аналитически ($v = \arctg i$) или графически. Для многократного определения углов наклона (уклонов) строят номограммный график – график заложений. Под южной рамкой карты расположен график заложений для углов наклона (рис. 2.21). На карте берут раствором циркуля отрезок, заключенный между двумя горизонталями, и переносят на график заложений, установив ножки измерителя между горизонтальной линией и кривой, и отсчитывают значение угла наклона с точностью до $0,1^\circ$. На рис. 2.21 угол наклона составляет $1,6^\circ$, а уклон $0,026$ или 26‰ .

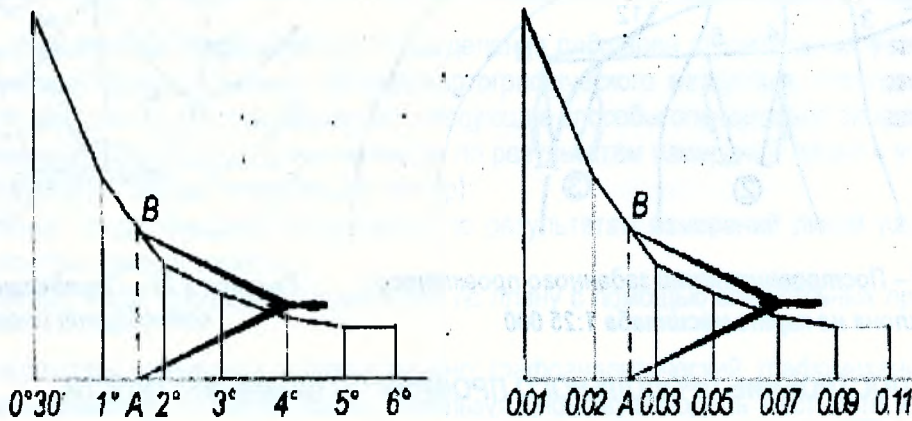


Рисунок 2.21 – Графики заложений углов наклона и уклонов

в) построить линию предельного проектного уклона по заданному направлению

Проектирование линии заданного уклона часто встречается в инженерной практике, в частности при трассировании по карте линейных сооружений.

Пусть задан предельный уклон, под которым должна проходить проектная линия, $i_{пр} = 20\text{‰}$. Величину горизонтального проложения в масштабе карты, соответствующую этому уклону, вычисляют по формуле $d = \frac{h}{i \cdot M} = \frac{5}{0,020 \cdot 25000} = 0,01 \text{ м} = 10 \text{ мм}$ или определяют с помощью графика заложений для уклонов (рис. 2.21).

Установив вычисленное расстояние d в раствор циркуля-измерителя, откладывают его в нужном направлении, устанавливая иглы измерителя между соседними горизонталями, не пересекая их одним раствором измерителя (рис. 2.22). Так как точка М расположена на горизонтали, то в направлении соседней горизонтали, раствором измерителя соответствующем d (под номером 1), делаем засечки и получаем точки 1 и 7.

Затем из этих точек, засечками той же величины в сторону следующей горизонтали, получаем точки 2 и 8. По северному варианту величина засечек остаётся неизменной до точки 12. В южном варианте между точкой 4 и следующей горизонталью расстояние превышает минимально допустимое (под номером 2), поэтому ось сооружения прокладывается непосредственно в направлении точки N. Аналогично получается положение точки 6. Точка N расположена между горизонталями и имеет отметку 142,5.

Поэтому для отрезков 12-N и 6-N определяем минимально допустимое расстояние d_{\min} исходя из превышения между точкой N и горизонталью с отметкой 150 м. Так как длина отрезков 12-N и 6-N (под номером 3) больше d_{\min} , то линия сооружения проектируется в направлении точки N. Из двух полученных вариантов трассы выбирают лучший по технико-экономическим показателям.

г) определение границы водосборной площади

Водосборной площадью, или бассейном, называется участок земной поверхности, с которого вода по условиям рельефа должна стекать в данный водоток (реку, лощину, тальвег). Определение границ водосборной площади выполняют с учетом рельефа местности по горизонталям карты (плана). Граница водосборной площади проходит по водоразделу (хребту).

Пусть на карте указаны участок и створ проектируемой дамбы a-b (рис. 2.23).

В соответствии со свойствами отображения местности горизонталями граница водосбора проходит в обе стороны от крайних точек дамбы a и б перпендикулярно к горизонталям (по линиям наибольшего ската) до линий водоразделов (точки в и г) и далее по этим линиям до вершин холмов. Между вершинами холмов эта граница проходит по водораздельным линиям, соединяющим вершины с отметками 58,2 м и 56,8 м с серединой седловины (отметка 53,8 м).

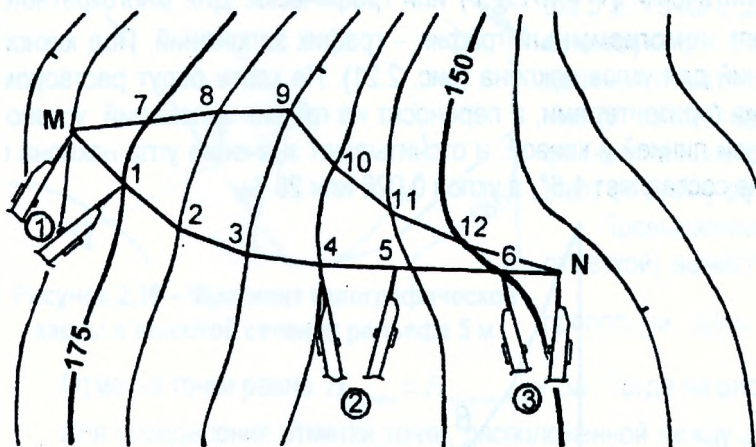


Рисунок 2.22 – Построения линии заданного проектного уклона на карте масштаба 1:25 000

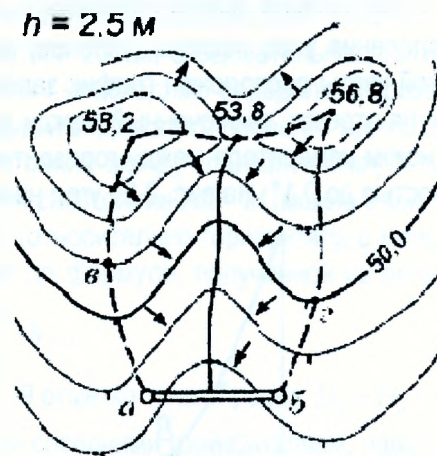


Рисунок 2.23 – Определение границы водосборной площади

Задание 6. ПОСТРОЕНИЕ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ПО ЛИНИИ МЕСТНОСТИ

Профиль – изображение на плоскости вертикального разреза местности, построенного в заданном вертикальном и горизонтальном масштабах. Пусть по заданному направлению (линия MN, рис. 2.24, а), необходимо построить продольный профиль. Для этого отмечают точки пересечения линии MN с горизонталями и со всеми характерными точками и линиями рельефа.

Для построения профиля на листе миллиметровой бумаги строят профильную сетку, а затем откладывают расстояния по линии MN в горизонтальном масштабе и наносят точки пересечения с горизонталями (рис. 2.24, б).

В графу «Расстояния» выписывают расстояния между соседними точками, которые определяют при помощи измерителя и масштабной линейки, а в графу «Отметки земли» – отметки точек, определенные на карте. В вертикальном масштабе для каждой точки откладывают от условного горизонта отрезки, равные отметкам, в выбранном вертикальном масштабе (на рис. 2.24, б вертикальный масштаб равен 1:2500). При этом, чтобы профиль был более выразительным, масштаб вертикальных расстояний берется в 10 раз крупнее горизонтального масштаба. Концы вертикальных отрезков соединяют ломаной линией. Соединив на профиле начальную точку (M) и конечную точку (N), делают вывод о наличии либо отсутствии прямой видимости. В нашем примере прямая видимость между точками M и N отсутствует.

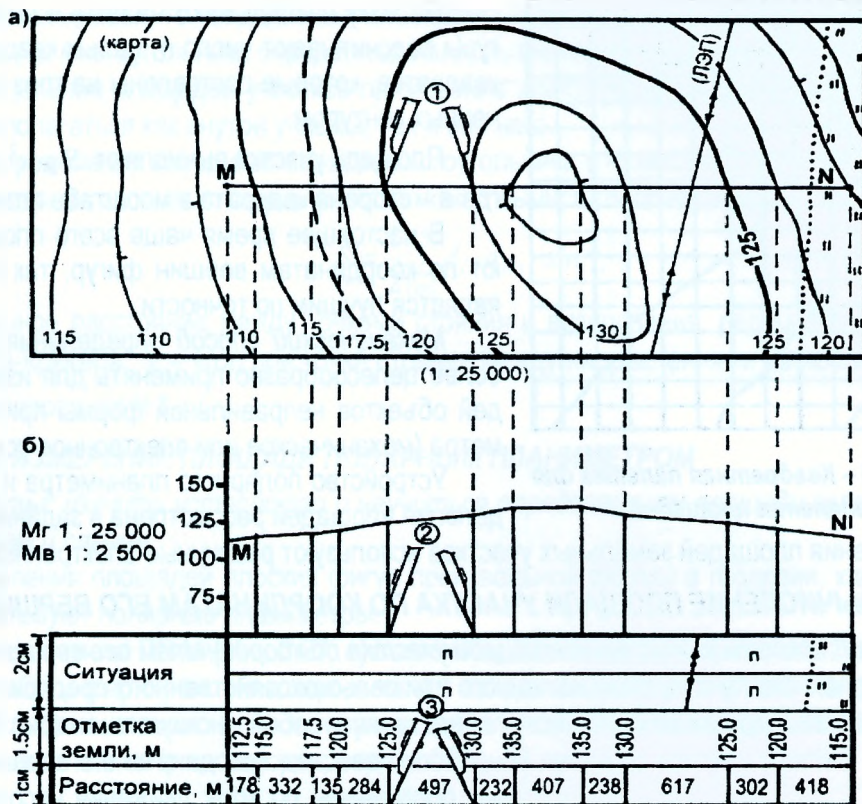


Рисунок 2.24. Продольный профиль местности по линии MN
Масштабы: горизонтальный 1:25000, вертикальный 1:2500

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДЕЙ УЧАСТКОВ

Способы определения площадей. Для определения площадей строительных участков в зависимости от значимости объекта, наличия планово-картографического материала, топографических условий местности и требуемой точности применяют следующие способы определения площадей:

- *аналитический*, когда площадь вычисляется по результатам измерений линий и углов на местности или по их функциям (координатам вершин фигур);
- *графический*, когда площадь вычисляется по результатам измерений линий или координат на плане (карте) или при помощи палеток;
- *механический*, когда площадь определяется по плану с помощью специальных приборов (планиметров).

Иногда эти способы применяют комбинированно: графоаналитический, графомеханический способ. Площади можно вычислить по координатам, используя цифровую модель местности и специализированное программное обеспечение.

При *аналитическом* способе определения площадей применяются формулы геометрии, тригонометрии и аналитической геометрии. Средняя квадратическая погрешность площади

$$m_s = \frac{\sqrt{2}}{2} m_{x,y} \sqrt{\sum_{i=1}^n D_i^2},$$

где $m_{x,y}$ – средняя квадратическая погрешность определения координат точек вершин полигона при условии, что $m_{x_1} = m_{x_2} = \dots = m_{y_1} = m_{y_2} = m_{y_n} = m_{x,y}$,

D_i – расстояние от начала координат до i -й точки вершины полигона (в частном случае от одной из вершин, принятой за начало координат).

При *графическом* способе определения площадей участок на плане делят на простейшие геометрические фигуры: треугольники или трапеции, площади которых вычисляют по известным математическим формулам, а площадь фигуры – как сумму площадей отдельных фигур. Также можно использовать палетку, представляющую собой прозрачную основу (пластик, калька) с нанесенной на нее сеткой равных по площади фигур, обычно квадратов (рис. 2.25).

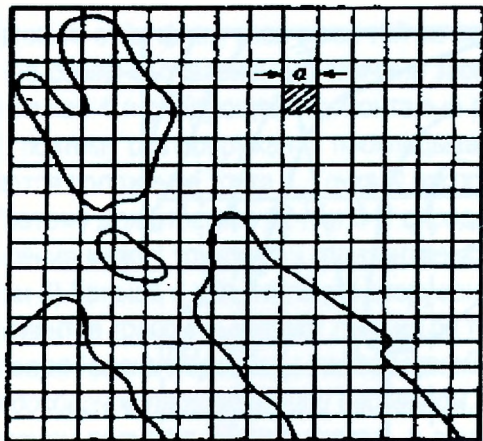


Рисунок 2.25 – Квадратная палетка для определения площадей

Для определения площадей земельных участков используют различные электронные планиметры.

Задание 1. ВЫЧИСЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ УЧАСТКА ПО КООРДИНАТАМ ЕГО ВЕРШИН

Цель работы: освоить вычисление площади участка по координатам его вершин.

Границы населенного пункта, промышленного или сельскохозяйственного предприятия, контур территории строительства и других объектов могут представлять собой многоугольник (рис. 2.26).

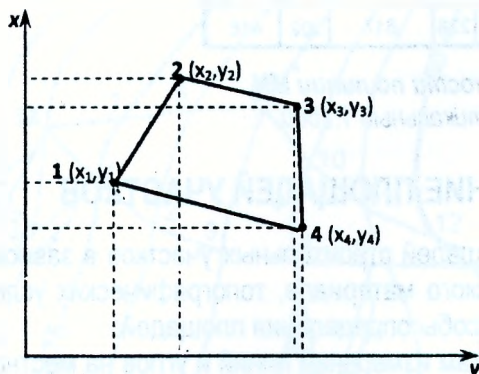


Рисунок 2.26 – Определение площади участка по координатам его вершин

Например, для четырехугольника 1-2-3-4:

$$2S = x_1(y_2 - y_4) + x_2(y_3 - y_1) + x_3(y_4 - y_2) + x_4(y_1 - y_3);$$

$$2S = y_1(x_4 - x_2) + y_2(x_1 - x_3) + y_3(x_2 - x_4) + y_4(x_3 - x_1).$$

Площадь вычисляют отдельно по каждой формуле с промежуточным контролем разностей ординат и абсцисс из условий

$$\sum_1^n (y_{i+1} - y_{i-1}) = 0; \quad \sum_1^n (x_{i-1} - x_{i+1}) = 0.$$

Координаты вершин многоугольника можно определить, проложив по контуру фигуры теодолитный ход, тогда площадь участка будет получена с точностью 1/500– 1/2000. Пример вычисления площади полигона по координатам его вершин приведен в табл. 2.7

Таблица 2.7 – Ведомость вычисления площади полигона по координатам

Номера точек	$X_i \cdot (Y_{i+1} - Y_{i-1})$	$(Y_{i+1} - Y_{i-1})$	Координаты, м		$(X_{i-1} - X_{i+1})$	$Y_i \cdot (X_{i-1} - X_{i+1})$
			X	Y		
1	-149 303	-253,83	588,20	544,30	160,53	87 374
2	-78 256	-118,28	661,62	339,90	-329,14	-111 875
3	232 849	253,83	917,34	426,02	-160,53	-68 387
4	97 243	118,28	822,14	593,73	329,14	195 420
Сумма	102 533	0,00			0,00	102 533

Площадь равна 51 266 м² = 5,1 га

Палетку накладывают на план и внутри контура фигуры подсчитывают число n_1 целых квадратов и число n_2 квадратов, которые составлены на глаз из частей рассеянных контуром.

Площадь участка вычисляют $S = a^2 \cdot (n_1 + n_2)$, где a – сторона квадрата в масштабе плана.

В настоящее время чаще всего площади определяют по координатам вершин фигур, так как этот способ является лучшим по точности.

Механический способ определения площадей наиболее целесообразно применять для измерения площадей объектов неправильной формы при помощи планиметра (механическое или электронное устройство).

Устройство полярного планиметра и методика определения площадей рассмотрена в задании 2.

Если известны координаты его вершин (номера вершин обозначены по ходу движения часовой стрелки), то площадь замкнутого многоугольника вычисляют по формулам аналитической геометрии:

$$2S = \sum_1^n x_i (y_{i+1} - y_{i-1});$$

$$2S = \sum_1^n y_i (x_{i-1} - x_{i+1}), \text{ где } i = 1, 2, \dots, n.$$

Удвоенная площадь многоугольника равна сумме произведений каждой абсциссы на разность ординат передней и задней по ходу точек, а также сумме произведений каждой ординаты на разность абсцисс задней и передней по ходу точек.

Если участок огорожен, то теодолитный или полигонометрический ход прокладывают за пределами участка, а вершины многоугольника определяют полярным способом либо засечками. Наиболее эффективно для определения площадей участков применение электронных тахеометров. Точка стояния прибора может располагаться как внутри участка, так и вне него.

В случае определения координат вершин многоугольника с помощью электронной тахеометрии путем решения полярных засечек площадь участка можно вычислить по формуле:

$$S = \frac{1}{2} \left| \sum_{i=1}^n d_i \cdot d_{i+1} \cdot \sin \gamma_i \right|,$$

где d_i – измеренное расстояние между точками стояния и визирования, редуцированное на плоскость проекции Гаусса-Крюгера; γ_i – угол при точке стояния между направлениями на последующую и предыдущую точки визирования $i+1$ и i .

Задание 2. ИЗМЕРЕНИЕ ПЛОЩАДИ ПОЛЯРНЫМ ПЛАНИМЕТРОМ

Цель работы: изучить устройство и научиться определять им площади контуров по топографическим картам и планам.

Для определения площадей плоских фигур произвольной формы в геодезии, картографии, землеустройстве используют полярные планиметры.

Полярный планиметр ПП-М (рис. 2.27, а) состоит из полюсного 1 и обводного 2 рычагов, соединяемых во время работы шарниром. На конце рычага 1 находится полюс 4 с иглой. На одном конце обводного рычага расположена каретка, на которую установлен счетный механизм, а на другом – обводная лупа 5. Удерживая планиметр за поводок, ведут обводной лупой по контуру участка, площадь которого хотят измерить.

Счетный механизм состоит из счетного ролика 8, имеющего шкалу из 100 делений, отсчетного диска 9 с десятью цифрами, ведущего отсчет оборотов счетного ролика 8, и верньера 10 (шкалы с десятью делениями).

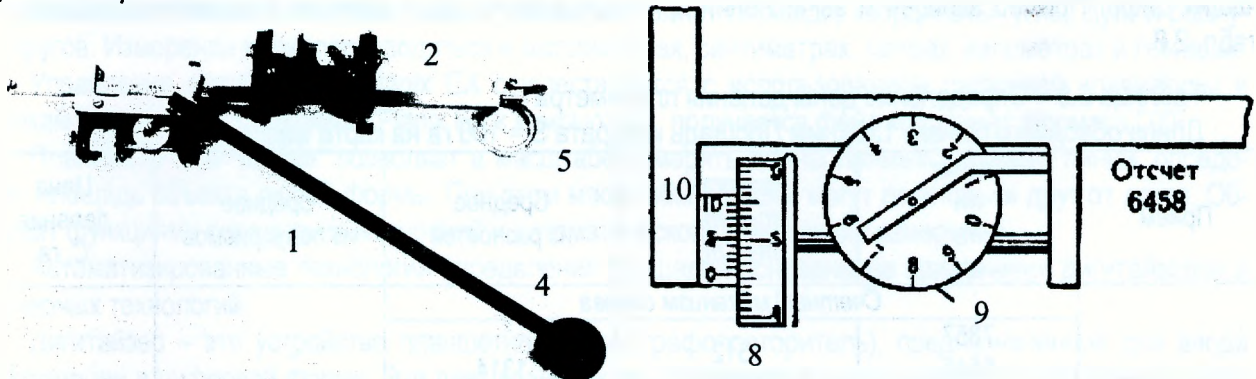


Рисунок 2.27– Полярный планиметр: а) общий вид; б) счетный механизм

Отсчет, снимаемый по счетному механизму, состоит из четырех цифр: первая берется по отсчетному диску 9, вторая и третья – по шкале счетного ролика 8, четвертая отсчитывается по верньеру 10. На рис. 2.27, б показан отсчёт, равный 6458.

Начальную точку на контуре обводимой фигуры выбирают так, чтобы при установке над нею центра обводной лупы угол между рычагами приближался к прямому: в этом случае небольшое перемещение лупы не вызовет изменения отсчета по счетному ролику.

Значение площади S , измеренной полярным планиметром, вычисляется по формуле

$$S = C \cdot (m_2 - m_1);$$

при положении полюса вне фигуры, где C – цена деления планиметра; m_1 и m_2 – отсчеты по счетному механизму в начале и в конце обвода фигуры.

Правила работы с планиметром при обводе контура фигуры следующие:

1. План (карту) закрепляют на гладкой горизонтальной поверхности.
2. Устанавливают полюс планиметра вне обводимого контура, бегом обводят его и убеждаются в том, что углы между рычагами будут не менее 30° и не более 150° и обводное колесо не соскакивает с листа плана или карты.

3. Начальную точку контура для установки обводной лупы выбирают так, чтобы в начале обвода счетное колесо вращалось медленно.

4. Ручку обводного рычага надо держать свободно, без напряжения, чтобы рычаг опирался на бумагу только своей тяжестью.

5. Обвод по контуру производят равномерно, не быстро, но и не очень медленно, так, чтобы глаз различал надписи штрихов на вращающемся счетном колесе.

6. Если при обводе контура по ходу движения часовой стрелки второй отсчет оказался меньше первого, то к нему прибавляют 10 000.

Определение цены деления планиметра. Ценой деления планиметра называется площадь, выраженная в га либо кв.км (кв.м), соответствующая одному делению планиметра. Её определяют измеряя известную площадь, например, площадь квадрата координатной сетки.

Цена деления равна
$$C = \frac{S}{(m_2 - m_1)}$$

Измерение производится двумя полуприемами с двукратным обходом в полуприемах. Полуприем составляет обвод при положении счетного механизма по одну сторону от линии: лупа – полюс.

Устанавливают обводную лупу в начальной точке при положении счетного механизма справа (слева) и делают отсчет m_1 ; обводят фигуру в направлении движения часовой стрелки и в конце обвода делают отсчет m_2 , производят второй обвод и получают отсчет m_3 . Каждая разность $m_2 - m_1$ и $m_3 - m_2$ дает площадь квадрата в делениях планиметра. Расхождение в двух определениях может быть в пределах четырех делений. При больших расхождениях обвод повторяют (продолжают) и неверный отсчет отбрасывают.

После этого счетный механизм переводят в положение слева (справа) и делают два обвода фигуры так же, как и при предыдущем положении счетного механизма. На этом прием заканчивается. Вычисляют цену деления планиметра, где $m_2 - m_1$ – среднее значение разностей отсчетов, полученных при обводе квадрата полным приемом. Цена деления планиметра вычисляется с сохранением четырех значащих цифр. Пример записей и вычислений при определении цены деления планиметра приведен в табл. 2.8.

Таблица 2.8 – Определение цены деления планиметра
Длина обводного рычага 130,0 мм Площадь квадрата S = 100 га на карте масштаба 1:10 000

Прием	Отсчет m_1 m_2 m_3	Разность $m_2 - m_1$ $m_3 - m_2$	Среднее из разностей	Среднее из полуприемов	Цена деления C, га
1	<i>Счетный механизм справа</i>			1314	0,07607
	7857 6545 5230	1312 1315	1314		
	<i>Счетный механизм слева</i>				
	6603 5287 3973	1316 1314	1315		

Определение площади участка. Чтобы определить площадь участка, выполняют несколько обводов планиметром, всегда начиная и заканчивая обвод в одной точке. Площадь каждого участка измеряют двумя полуприемами: это может быть использование двух счетных механизмов планиметра или обводы участка по ходу и против хода часовой стрелки. Результаты записывают в журнал по форме, приведенной в табл. 2.9. Здесь выполнено по два обвода, отсчёты снимались по двум счётным механизмам.

Значение площади вычисляют по формуле $S = C \cdot (m_2 - m_1)$.

Площади контуров ситуации определяют двумя обводами планиметра при одном положении полюса. В землеустройстве расхождения в результатах обводов из полуприемов допускают: два деления при площади до 200 делений, три деления при площади 200-2000 делений и четыре деления при площади свыше 2000 делений. При благоприятных условиях измерений относительная погрешность определения площадей с помощью полярного планиметра близка к 1:400.

Таблица 2.9 – Определение площадей контуров

Участок	1 полуприем			2 полуприем			Среднее из двух полу-приемов	Цена деления, га/дел	Измеренная площадь $S_{изм}$, га
	Отсчет m_1 m_2 m_3	Разность $m_2 - m_1$ $m_3 - m_2$	Среднее из разностей	Отсчет m_1 m_2 m_3	Разность $m_2 - m_1$ $m_3 - m_2$	Среднее из разностей			
1 (пашня)	8797 0322 1846	1525 1524	1524	9373 0906 2436	1533 1530	1532	1528	0,07607	116,2

Для определения площадей земельных участков используют различные электронные планиметры, например Tamaya Planix 5, Planix 7, Planix EX, Sokkia Planix S10 "marble" и др. (рис. 2.28).

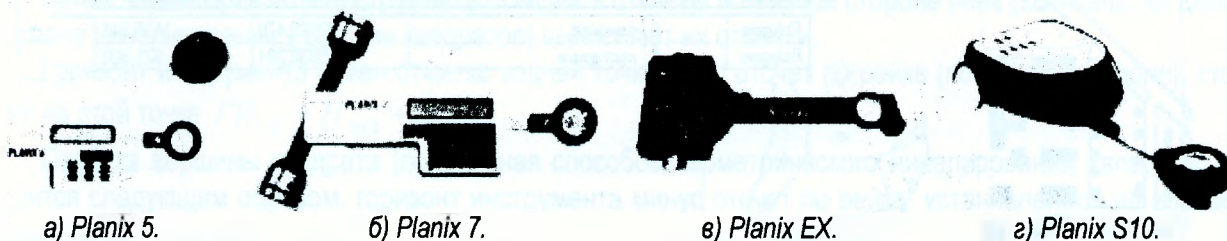


Рисунок 2.28 – Электронные планиметры

Планиметр Planix 5 полярного типа имеет полюсное плечо, с помощью которого осуществляется движение в пределах измеряемой площади, вычисляет площади в квадратных сантиметрах или квадратных дюймах. Значения отображаются на 8-символьном дисплее.

Планиметр роликового типа Planix 7 имеет ролики, обеспечивающие значительное горизонтальное перемещение. Цифровая клавиатура позволяет вводить пользовательский масштаб, в котором вычисляется площадь плана или рисунка.

Планиметр Planix EX измеряет длины линий, вычисляет площади, координаты, углы, дуги и радиусы кругов. Измерения могут производиться в миллиметрах, сантиметрах, метрах, километрах и гектарах.

Управление планиметром Planix EX осуществляется с использованием цифровой клавиатуры и кнопок на трассере. Подключив Planix EX к компьютеру, получается файл координат формата DXF.

Планиметр S10 "marble" позволяет в масштабе измерять длины прямых и кривых линий, определять площадь объекта любой формы. При этом масштабы по осям могут отличаться друг от друга. Обладает функциями осреднения измерений и автоматического завершения измерений.

Автоматизированные технологии определения площадей основаны на применении дигитайзеров и сканерных технологий.

Дигитайзер – это устройство планшетного типа (графоповторитель), предназначенное для ввода информации в цифровой форме. Это дает возможность эффективно использовать топографическую основу для определения координат точек, расстояний, направлений между отображенными точками, площадей земельных участков. Все необходимые элементы топографической информации (отрезки линий, их направления, углы между линиями, площади фигур и пр.), являющиеся функцией измеренных координат, вычисляются на ЭВМ, используя для этого комплекс специального программного обеспечения.

Дигитайзер состоит из электронного планшета (иногда на нем имеется прямоугольное меню) и курсора (рис. 2.29).

Дигитайзер имеет собственную систему координат и при передвижении курсора по планшету координаты перекрестья его нитей передаются в компьютер. Размеры планшета дигитайзера колеблются от А4 до А0, переменным является также количество кнопок на курсоре (от одной до семнадцати). Стандартом считается наличие двенадцати кнопок. Чем большим количеством их обладает курсор дигитайзера, тем больше команд при работе может быть осуществлено нажатием на них.

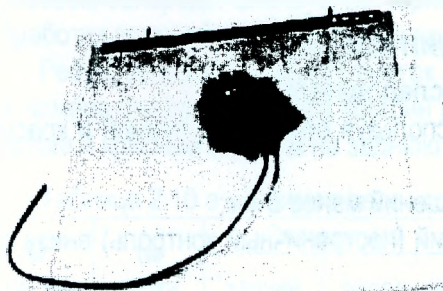


Рисунок 2.29 – Дигитайзер MUTOH XMT

Определение площадей на основе сканерных технологий основано на сканировании картографических оригиналов. В результате сканирования черно-белый оригинал представляется двумерной матри-

цей, а цветной оригинал преобразуется в трехмерную матрицу, где цвет представлен определенным диапазоном чисел в элементах матрицы. Отсканированное изображение из файла выводится на экран монитора, и само цифрование осуществляется по этой «подложке», обычно при помощи «мыши». Здесь каждый объект, как и при цифровании дигитайзером, оператор должен «обвести», только не на планшете, а на экране. При ручной векторизации все операции выполняет сам оператор, а при интерактивной часть операций производится автоматически, при автоматической процесс распознавания выполняются автоматически. Выбор типа векторизации зависит от используемого программного обеспечения, так называемых «векторизаторов», качества картографического материала, его сложности и других факторов.

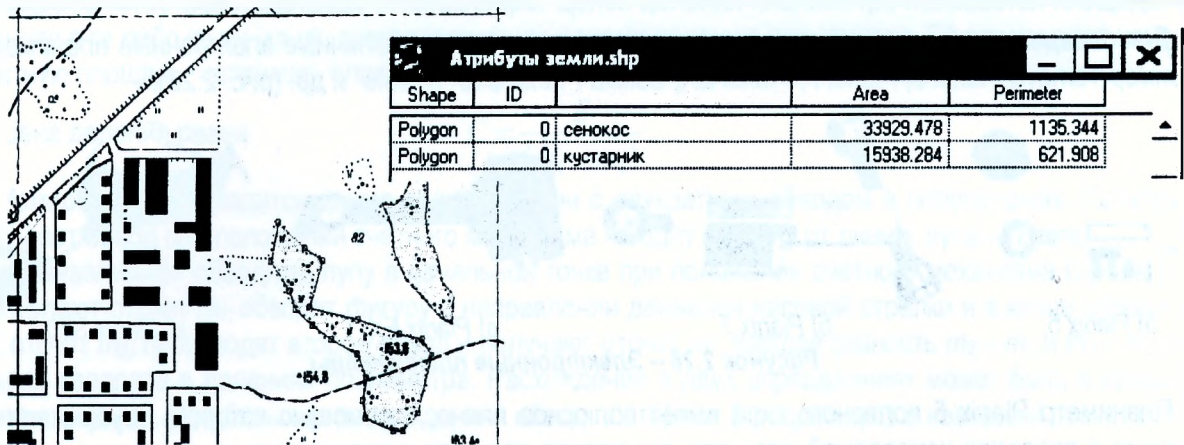


Рисунок 2.30 – Векторизация по «растру»

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ПРИ СОСТАВЛЕНИИ ПРОЕКТОВ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛАНИРОВКИ

Содержание работы: по данным нивелирования поверхности по квадратам выполнить проектирование наклонной площадки с соблюдением баланса земляных работ.

Рельеф земной поверхности в своём естественном состоянии обычно не пригоден для непосредственного размещения и строительства на нем проектируемых сооружений. **Преобразование существующего** (естественного) **рельефа** в проектный (искусственный) рельеф, отвечающий требованиям строительства и благоустройства территории, называется **вертикальной планировкой местности**.

Графической основой для составления проекта вертикальной планировки служит топографический план, полученный в результате съёмки местности методом нивелирования поверхности по квадратам, который применяется на местности со слабо выраженным рельефом и небольшим количеством контуров. Топографический план составляют в масштабах 1:2000, 1:1000 или 1:500 с высотой сечения рельефа 1,0; 0,5 или 0,25 метра. При нивелировании по квадратам все отсчёты по рейкам заносят в полевую схему-журнал. Отметки вычисляют в Балтийской системе высот.

Исходные данные: полевая схема-журнал нивелирования по квадратам, где приведены отсчеты по нивелирным рейкам (находится в рабочей тетради). *Длина стороны квадрата, местоположение и отметка исходного репера задаются преподавателем.*

Задание 1. ВЫЧИСЛЕНИЕ ФАКТИЧЕСКИХ ОТМЕТОК ВЕРШИН КВАДРАТОВ

Обработка схемы-журнала выполняется в следующей последовательности:

- вычисляют превышения на каждой станции $h = 3 - II$, используя отсчеты по черной и красной сторонам реек (в табл. 2.10);
- вычисляют средние превышения, если расхождение превышений менее 5 мм;
- выполняют контроль правильности вычисления превышений (постраничный контроль) внизу под таблицей;
- вычисляют невязку хода: $f_h = \sum h_{cp} - (H_2 - H_1)$, где $\sum h_{cp}$ – сумма средних превышений, H_2 и H_1 – отметки конечного и начального реперов.

Если невязка f_h не превышает допустимого значения $f_{h_{дон}} = \pm 50 \text{ мм} \sqrt{L} = \pm 10 \text{ мм} \sqrt{n}$, то нивелирование выполнено правильно. При вычислении невязки L – длина хода берется в км, n – число станций.

– распределяют *невязку*, взятую с обратным знаком, приблизительно поровну во все средние превышения, округляя до целых мм.

Поправка в превышение вычисляется по формуле: $V_i = -f_h/n$. Контроль вычислений: $\sum V = -f_h$.

– вычисляют уравненные превышения $h_{уравн.} = h_{ср.} + V_i$, учитывая знак превышения и поправки.

– вычисляют отметки связующих точек (следует помнить, что отметки выражают в метрах, а превышения получены в миллиметрах):

$$H_{посл.} = H_{пред.} + h_{уравн.}$$

где $H_{посл.}$ – отметка последующей связующей точки (передней); $H_{пред.}$ – отметка предыдущей точки (задней).

Контроль правильности вычисления отметок: в конце вычислений должны получить отметку репера (исходное значение).

Затем через горизонты инструмента станций и отсчёты по черной стороне реек (записаны на схеме-журнале нивелирования у вершин квадратов) вычисляют их отметки.

Горизонт инструмента равен отметке задней точки плюс отсчёт по рейке (по чёрной стороне), стоящей на этой точке $ГИ_{СТ} = H_{Зад} + a_{Зад}^{ЧЕР}$

Отметка вершины квадрата (полученная способом геометрического нивелирования «вперёд») находится следующим образом: горизонт инструмента минус отсчет по рейке, установленной на вершине квадрата $H_{ФАКТ} = ГИ_{СТ} - a^{ЧЕР}$.

Таблица 2.10 – Ведомость вычисления отметок связующих точек

№ станции	№ точки	Отсчеты, мм		Превышения, мм			Отметка Н, м	№ точки
		задний	передний	вычисленное	среднее (поправка)	уравненное		
I	Рп							Рп
II								
III	Рп							Рп

$$\sum 3 = \quad \sum П = \quad \sum h_b = \quad \sum h_{ср.} =$$

Контроль: $\sum 3 - \sum П = \sum h_e = 2\sum h_{ср} \quad f_h = \sum h_{ср} = \quad fh_{дон} = \pm 17 \text{ мм } (n = 3).$

Вычисленные фактические отметки записывают в схему-журнал нивелирования.

Рассмотрим пример. Все результаты нивелирования даны в схеме-журнале нивелирования по квадратам (рис. 2.31). Связующие точки и репер, расположенный в вершине 1в, образуют замкнутый нивелирный ход. Связующие точки на схеме-журнале выделены кружками, их нивелируют дважды со смежных станций (основной ход – нивелирование «из середины»). Отсчёты, взятые по чёрной и красной сторонам реек, на связующие точки записаны по линиям нивелирования замкнутого хода, они показаны сплошной двойной линией.

Пунктирные линии, соединяющие станции с вершинами квадратов, схематично показывают визирные линии при нивелировании остальных вершин квадратов. Они нивелировались как промежуточные точки – способом «вперёд». Отсчёты по чёрной стороне рейки записаны около вершин квадратов. В результате обработки полевой схемы-журнала получают отметки всех вершин квадратов с точностью до 0,001 м.

Результаты вычислений отметок связующих точек переносят в табл. 2.10 а. В графы 1, 2 записывают номера станций и номера вершин квадратов, образующих замкнутый нивелирный ход. В графе 3, 4 – чёрные и красные отсчёты на заднюю и переднюю рейки.

Таблица 2.10 а – Пример ведомости вычисления отметок связующих точек

№ станции	№ точки	Отсчеты, мм		Превышения, мм			Отметка Н, м	№ точки
		задний	передний	вычисленное	среднее (поправка)	уравненное		
I	Рп 1в	1228	0823	+405	+404		14,100	Рп 1в
	3б	5914	5510	+404	-2	+402	14,502	3б
II	3б	0405	0200	+205	+204		14,502	3б
	3г	5092	4889	+203	-1	+203	14,705	3г

Продолжение таблицы 2.10 а

III	Зг	2390	2995	-605	-603		14,705	Зг
	Рп1в	7077	7678	-601	-2	-601	14,100	Рп 1в
Суммы		22106	22095	+11	$\sum h_{cp} = +5$			

Постраничный контроль: $\Sigma 3 - \Sigma П = \Sigma h_{выч} \approx 2 \Sigma h_{cp}$

Невязка $f_h = \sum h_{cp} = +5$ мм

Превышения на станции, вычисленные по чёрной и красной сторонам реек, записывают в графу 5. В графе 6 вычисляют средние превышения с округлением до 1 мм в ближайшую четную сторону (если среднее превышение равно +404,5 мм, запишем и примем в обработку +404 мм).

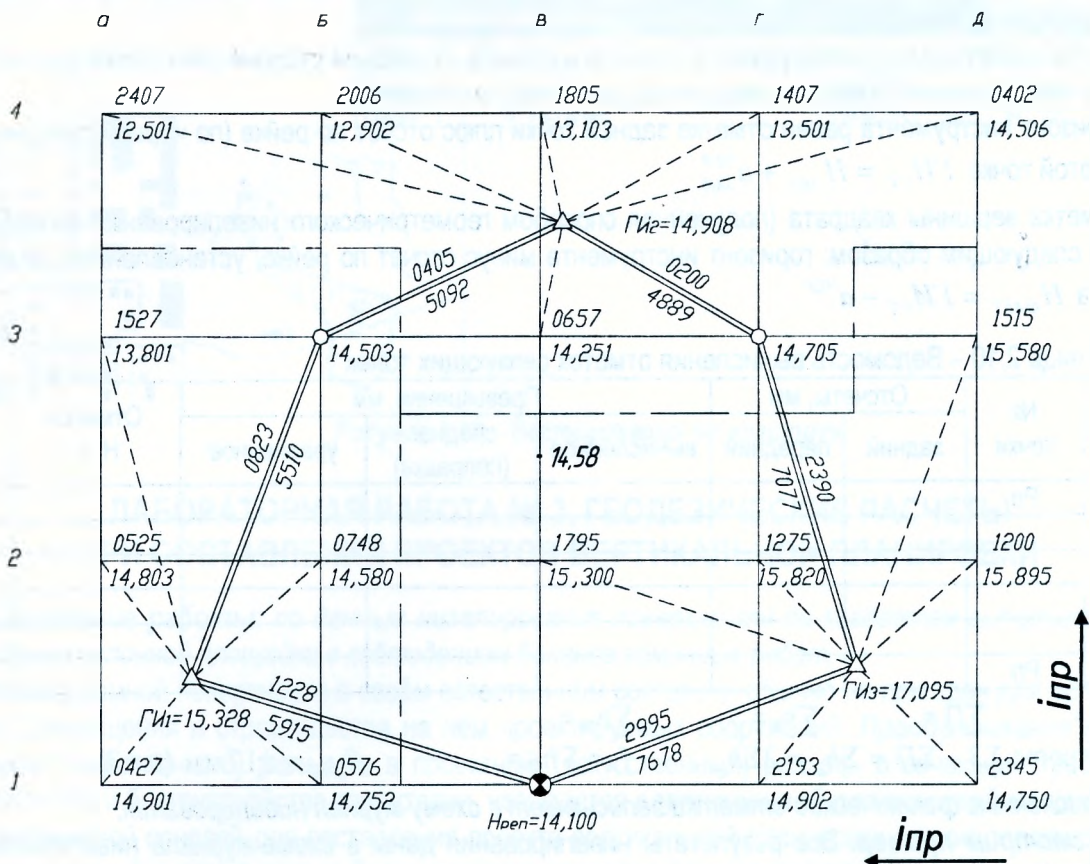


Рисунок 2.31 – Пример схемы-журнала нивелирования по квадратам с исходными данными и вычисленными отметками

Задание 2. ПОСТРОЕНИЕ ПЛАНА ОРГАНИЗАЦИИ РЕЛЬЕФА

План организации рельефа наклонной площадки составляют в масштабе 1:1000 с высотой сечения рельефа 0,5 метра, указав на нем фактические (черным цветом), проектные (красным) и рабочие отметки (синим), а также изобразив на нем существующий рельеф горизонталями (коричневый цвет) и проектные горизонтالي (прямые линии красного цвета).

На листе чертежной бумаги формата А-4 карандашом изображают сетку квадратов в выбранном масштабе (4×4 см). Подписывают фактические отметки черным цветом.

Построение горизонталей существующего рельефа выполняют, используя **графическую интерполяцию**, с помощью палетки.

На листе кальки проводят параллельные линии через одинаковые промежутки (например, через 1 см). На этих линиях подписывают отметки горизонталей, проходящих по участку местности, т.е. кратно 0,5 метра (рис. 2.32). Подготовленная таким образом калька называется **топографической палеткой**.

На интерполируемую сторону квадрата накладывают палетку и поворачивают её так, чтобы конечные точки (вершины квадрата) занимали на кальке места, соответствующие значениям их отметок (рис. 2.33). Зафиксировав в таком положении палетку, накалывают иглой по стороне квадрата точки пересечения с линиями палетки и отмечают их (отметки найденных точек будут равны отметкам горизонталей). Последовательно выполняют интерполяцию по всем сторонам квадратов, где проходят горизонтали.

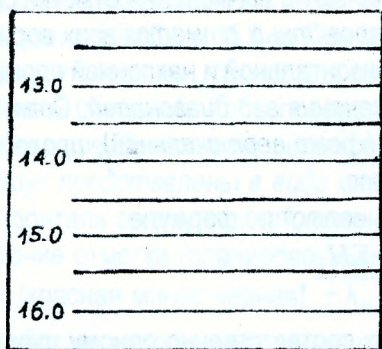


Рисунок 2.32 – Палетка

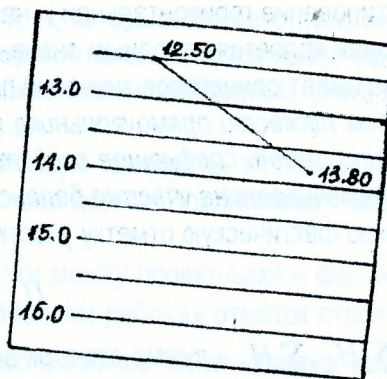


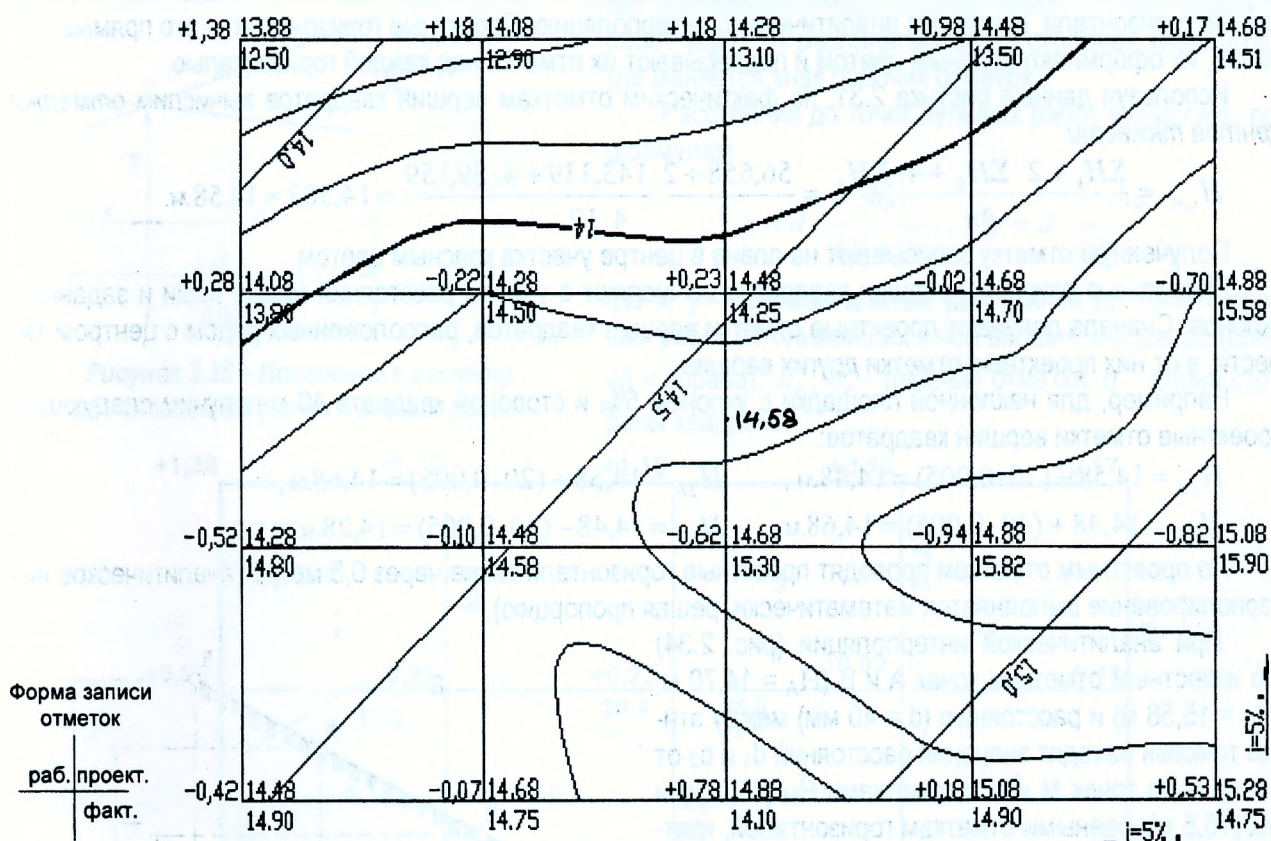
Рисунок 2.33 – Принцип наложения палетки

Затем точки с одинаковыми отметками соединяют плавными линиями – горизонталями.

Горизонтали фактического рельефа изображают плавными линиями коричневого цвета, утолщают и подписывают каждую 4-ю горизонталь (в разрыве горизонталь), причем целую метровую (например, 14-ю, 16-ю при высоте сечения 0,5 метра).

При оформлении плана организации рельефа необходимо соблюдать правила оформления: каждая отметка имеет своё место и цвет (чёрный, красный, синий). Пример оформления см. ниже.

ПЛАН ОРГАНИЗАЦИИ РЕЛЬЕФА (НАКЛОННАЯ ПЛОЩАДКА)



1: 1000

В 1 сантиметре 10 метров

Сплошные горизонталь проведены через 0,5 метра

Система высот Балтийская

Задание 3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ НАКЛОННОЙ ПЛОЩАДКИ

Проектирование наклонной площадки выполняется на крупномасштабном топографическом плане участка местности и является творческим процессом, при котором учитывают различные технические, экономические, гидрогеологические и другие факторы.

Проектирование горизонтальной и наклонной площадок начинают с вычисления отметки центра тяжести, которая является исходным значением для вычисления *проектных отметок* всех вершин квадратов, и она имеет одинаковое значение при проектировании горизонтальной и наклонной площадки.

Центром тяжести прямоугольника является точка пересечения его диагоналей. Отметка центра тяжести имеет следующее свойство: любая плоскость (кроме вертикальной), проходящая через неё, обеспечивает на участке баланс объёмов земляных масс.

Среднюю фактическую отметку участка (центра тяжести) вычисляют по формуле

$$H_{ц.т.} = \frac{\Sigma H_1 + 2 \cdot \Sigma H_2 + 4 \cdot \Sigma H_4}{4n},$$

где $\Sigma H_1, \Sigma H_2, \Sigma H_4$ – сумма отметок вершин, принадлежащих соответственно одному, двум и четырём квадратам, n – число квадратов, равно 12.

Используя *отметку центра тяжести*, через заданный проектный уклон вычисляют проектные отметки вершин квадратов, используя формулу $H_{послед} = H_{предыд} + i \cdot d$ (уклон берут в тысячных долях).

Направление уклона выбирают в соответствии с фактическим наклоном участка местности и показывают направление ската стрелкой красного цвета (см. рис. 2.31). По стрелке уклон имеет знак «-», а в обратном направлении знак «+».

Наклон площадки осуществить от угла, у которого максимальная фактическая отметка, то есть в соответствии с фактическим наклоном местности.

Сначала получают проектные отметки вершин квадратов, расположенных рядом с центром тяжести участка, а от них проектные отметки других вершин. Затем по значениям проектных отметок строят проектные горизонталы, используя аналитическую интерполяцию. Проектные горизонталы — это прямые линии, их оформляют красным цветом и подписывают их отметки над каждой горизонталью.

Используя данные рисунка 2.31, по фактическим отметкам вершин квадратов вычислим *отметку центра тяжести*

$$H_{ц.т.} = \frac{\Sigma H_1 + 2 \cdot \Sigma H_2 + 4 \cdot \Sigma H_4}{4n} = \frac{56,658 + 2 \cdot 143,339 + 4 \cdot 89,159}{4 \cdot 12} = 14,583 \approx 14,58 \text{ м.}$$

Полученную отметку записывают на плане в центре участка красным цветом.

Проектные отметки вершин квадратов вычисляют с учётом расстояний между ними и заданных уклонов. Сначала получают проектные отметки вершин квадратов, расположенных рядом с центром тяжести, а от них проектные отметки других вершин.

Например, для наклонной площадки с уклоном 5‰ и стороной квадрата 40 м получим следующие проектные отметки вершин квадратов:

$$H_{3B} = 14,58 - (20 \cdot 0,005) = 14,48 \text{ м}, \quad H_{2B} = 14,58 + (20 \cdot 0,005) = 14,68 \text{ м}, \\ H_{3Г} = 14,48 + (40 \cdot 0,005) = 14,68 \text{ м}, \quad H_{3Б} = 14,48 - (40 \cdot 0,005) = 14,28 \text{ м} \text{ и т.д.}$$

По проектным отметкам проводят проектные горизонталы также через 0,5 метра (аналитическое интерполирование выполняется математически, решая пропорцию).

При аналитической интерполяции (рис. 2.34) по известным отметкам точек А и В ($H_A = 14,70$ м, $H_B = 15,58$ м) и расстоянию ($d = 40$ м) между этими точками находят значения расстояний d_1 и d_2 от точки А до точек М и N с отметками H_M (15,0 м) и H_N (15,5 м), равными отметкам горизонталей, кратным высоте сечения рельефа по линии ската:

$$d_1 = \frac{h_1}{h} \cdot d = \frac{0,30}{0,88} 40 = 13,6 \text{ мм}; \\ d_2 = \frac{h_2}{h} \cdot d = \frac{0,80}{0,88} 40 = 36,4 \text{ мм},$$

где превышения относительно точки А имеют следующие значения:

$$H = H_B - H_A = 15,58 - 14,70 = 0,88 \text{ м}; \quad h_1 = H_M - H_A = 15,00 - 14,70 = 0,30 \text{ м}; \quad h_2 = H_N - H_A = 15,50 - 14,70 = 0,80 \text{ м}.$$

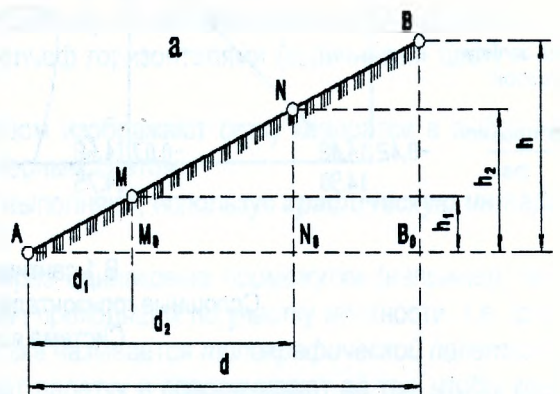


Рисунок 2.34 – Схема аналитического интерполирования отметок при построении горизонталей

На плане откладывают отрезки d_1, d_2 и получают точки М, N, которые соответствуют местоположению горизонталей 15,0 и 15,5 м. При построении проектных горизонталей интерполирование ведут только по контуру площадки, так как для построения проектных горизонталей необходимо иметь по две точки с одинаковой отметкой, чтобы провести проектную горизонталь.

Так как преобразование рельефа выполняется под наклонную плоскость, то *проектные горизонтали* будут представлены в виде параллельных линий красного цвета. Подписывают каждую проектную горизонталь сверху над ней, тоже красным цветом.

Рабочие отметки (планировочные) вычисляют как разности между проектными и фактическими отметками (красная минус черная) $\pm h_p = H_{пр} - H_{факт}$. По значениям рабочих отметок строят линию нулевых работ на картограмме земляных работ, рассчитав расстояния до точек нулевых работ с точностью 0,1 м.

Задание 4. ПОСТРОЕНИЕ КАРТОГРАММЫ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ И ВЫЧИСЛЕНИЕ ОБЪЕМОВ ЗЕМЛЯНЫХ МАСС

Картограмму земляных работ (пример на рис. 2.36) составляют на отдельном листе чертёжной бумаги в масштабе 1:1000: изображают сетку квадратов (черным цветом), записывают рабочие отметки, расстояния до точек нулевых работ и линию нулевых работ – границу выемки и насыпи грунта.

Контролем вычислений проектных и рабочих отметок может служить приближенное равенство нулю алгебраической суммы рабочих отметок.

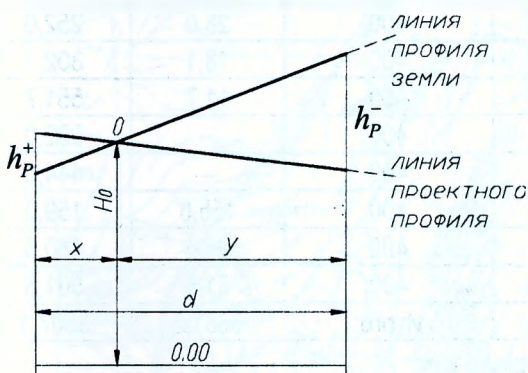


Рисунок 2.35 – Пояснение к расчету расстояний до точек нулевых работ

На основе расчетов проводят линию нулевых работ (штриховая линия синего цвета). Точки нулевых работ ($h_p = 0$) располагаются на сторонах квадратов, где меняется знак рабочих отметок.

Расстояния до точек нулевых работ вычисляют по формулам

$$x = d \cdot \frac{|h_p^+|}{|h_p^+| + |h_p^-|}, \quad y = d \cdot \frac{|h_p^-|}{|h_p^+| + |h_p^-|},$$

где x, y – горизонтальные расстояния до точки нулевых работ от ближайших к ней вершин квадратов (слева и справа); h_p^+, h_p^- – рабочие отметки; d – длина стороны квадрата.

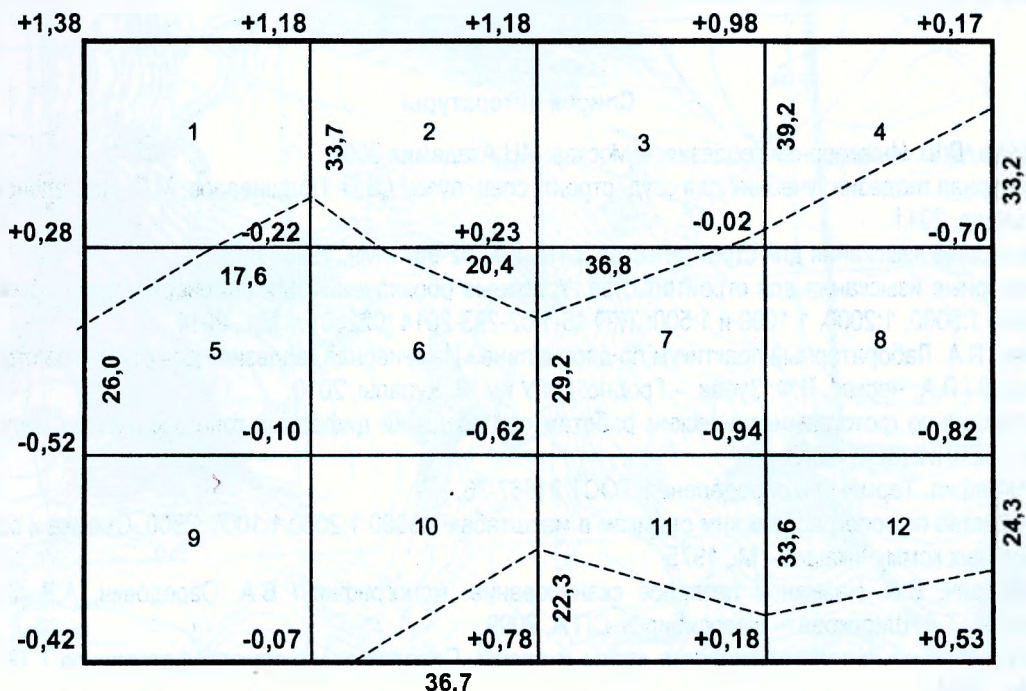


Рисунок 2.36 – Пример оформления картограммы земляных работ

Например, по стороне квадрата 1г–2г расстояние до точки нулевых работ от вершины 1д будет равно $x = \frac{40\text{ м}}{0,82 + 0,53} \cdot 0,53 = 15,7\text{ м}$, от вершины 2г $y = \frac{40\text{ м}}{0,82 + 0,53} \cdot 0,82 = 24,3\text{ м}$.

Вычисление расстояний x и y контролируется соблюдением равенства $x + y = d$.

Объемы выемки и насыпи в каждой фигуре (по рабочим отметкам вершин) будем вычислять по следующим формулам:

$$V_{\text{насыпи}} = \frac{(\sum h_n)^2}{\sum(|h_n| + |h_s|)} \cdot \frac{s}{4}; \quad V_{\text{выемки}} = \frac{(\sum h_s)^2}{\sum(|h_n| + |h_s|)} \cdot \frac{s}{4};$$

где $\sum h_{B(H)}$ – сумма рабочих отметок выемки (насыпи); $\sum |h|$ – сумма всех рабочих отметок в пределах одного квадрата без учёта знаков, s – площадь квадрата.

Таблица 2.11 – Подсчёт объёмов земляных масс

Номер квадрата	$\sum h_{H(B)}, \text{ м}$		$\sum h_{H(B)}^2$		$\sum h $	¼ площади фигуры $S / 4$	Объём, м^3	
	+	-	+	-			насыпи	выемки
1	2,84	0,22	8,0656	0,0484	3,06	400	1054,3	6,3
2	2,59	0,22	6,7081	0,0484	2,81	400	954,9	6,9
3	2,39	0,02	5,7121	0,0004	2,41	400	948,1	0,1
4	1,15	0,72	1,3225	0,5181	1,87	400	282,9	110,8
5	0,28	0,84	0,0784	0,7056	1,12	400	28,0	252,0
6	0,23	0,94	0,0529	0,8836	1,17	400	18,1	302,1
7	0,23	1,58	0,0529	2,4964	1,81	400	11,7	551,7
8	-	2,48	-	6,1504	2,48	400	-	992,0
9	-	1,11	-	1,2321	1,11	400	-	444,0
10	0,78	0,79	0,6084	0,6241	1,57	400	155,0	159,0
11	0,78	1,74	0,6084	3,0276	2,52	400	96,6	480,6
12	0,71	1,76	0,5041	3,0976	2,47	400	81,6	501,6
						Итого:	3631,2	3807,1

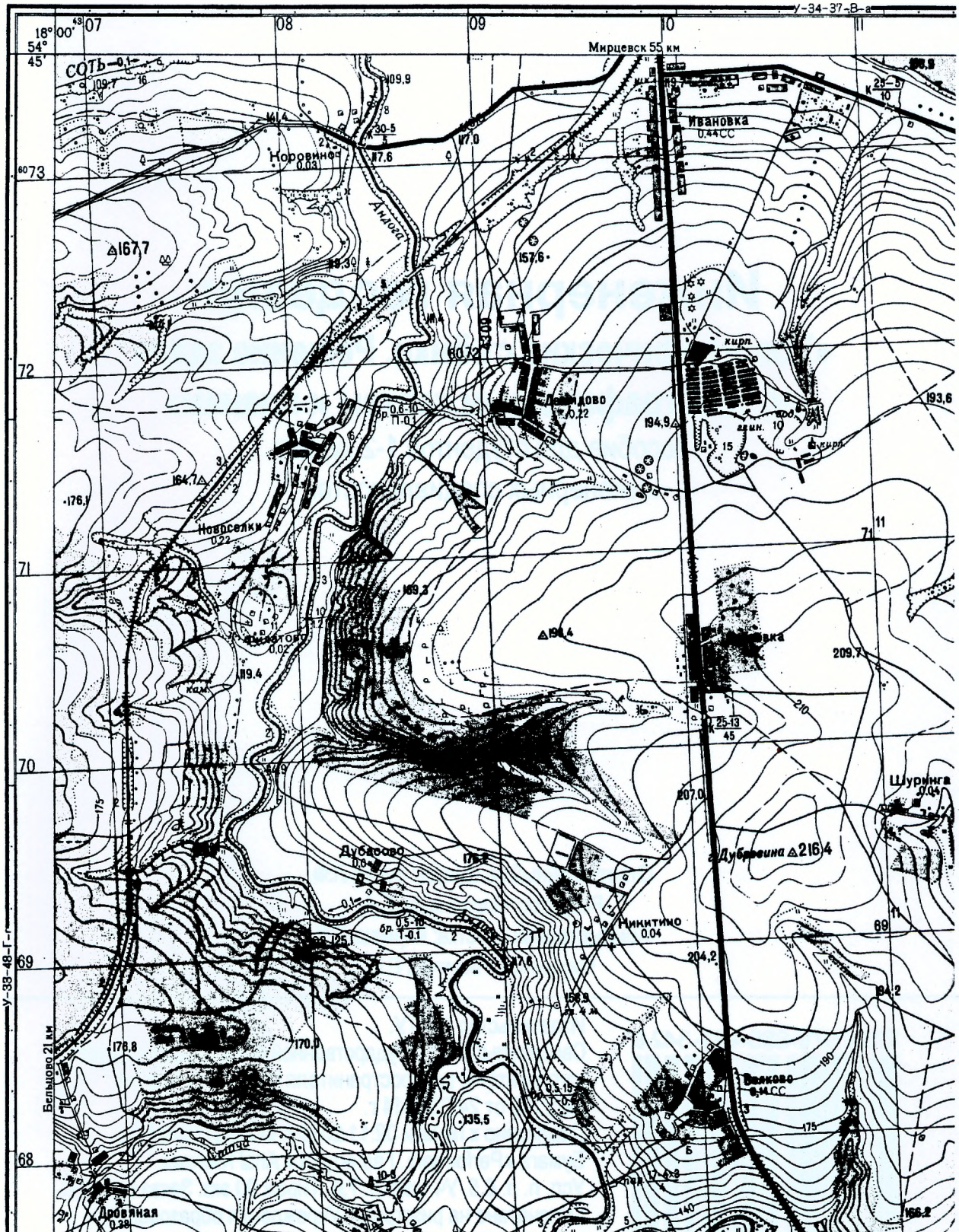
Разница в объёмах выемки и насыпи составила $\Delta V = \frac{\sum V_B - \sum V_H}{\sum |V_H| + |V_B|} \cdot 100\% = 2,2\%$ при допустимом балансе земляных работ согласно [11] – 5%.

Список литературы

1. Михелев, Д.Ш. Инженерная геодезия. – Москва: ИЦ Академия, 2004.
2. Инженерная геодезия: учебник для студ. строит. спец. вузов / В.П. Подшивалов, М.С. Нестеренок. – Минск: Вышэйшая школа, 2011.
3. Инженерные изыскания для строительства: СНБ 1.03.02-96. – Мн., 1996.
4. Инженерные изыскания для строительства. Условные обозначения для инженерно-топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500: ТКП 45-1.02-293-2014 (02250). – Мн., 2014.
5. Черкас, Л.А. Лабораторный практикум по дисциплине «Инженерная геодезия» для студентов строительных специальностей / Л.А. Черкас, Л.Ф. Зуева. – Гродно: ГрГУ им. Я. Купалы, 2010.
6. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов. ГКИНП – Мн., БЕЛНИЦЗЕМ, 2003.
7. Картография. Термины и определения: ГОСТ 21667-76.
8. Руководство по топографическим съёмкам в масштабах 1:5000 1:2000 1:1000 1:500. Съёмка и составление планов подземных коммуникаций. – М., 1975.
9. Середович, В.А. Наземное лазерное сканирование: монография / В.А. Середович, А.В. Комиссаров, Д.В. Комиссаров, Т.А. Широкова. – Новосибирск: СГГА, 2009.
10. Государственные топографические карты и планы. Порядок создания ортофотопланов / ТКП 116-2007 (03150). – Мн., 2014.
11. Геодезические работы в строительстве / ТКП 45-1.03-26-2006 (02250). – Мн., 2006.

Фрагмент топографической карты масштаба 1:25 000

У-34-37-В-В (СНОВ)



Учебное издание

*Зуева Людмила Фёдоровна
Кандыбо Светлана Николаевна*

Инженерная геодезия
«Топографические съёмки. Решение задач
по топографическим картам и планам»
пособие для студентов 1-2 курсов
инженерных специальностей

Ответственный за выпуск: Зуева Л.Ф.
Редактор: Боровикова Е.А.
Компьютерная верстка: Кармаш Е.Л.
Корректор: Никитчик Е.В.

ISBN 978-985-493-342-9



Издательство БрГТУ.
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/235 от 24.03.2014 г.
Подписано к печати 02.11.2015 г. Формат 60×84 1/8.
Бумага «Performer». Гарнитура «Arial Narrow».
Усл. п. л. 6,5. Уч.-изд. л. 7,0. Тираж 90 экз. Заказ № 1142.
Отпечатано на ризографе Учреждения образования
«Брестский государственный технический университет»
224017, Брест, ул. Московская, 267.