МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ГЕОДЕЗИИ И КАРТОГРАФИИ» (МИИГАиК)

Факультет дистанционных форм обучения – заочное отделение

Авакян В.В., Максимова М.В.

ЗАДАНИЯ и МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ к работам по курсу «ПРИКЛАДНАЯ ГЕОДЕЗИЯ»

Часть 1

Для студентов заочного отделения факультета дистанционных форм обучения.

Москва 2014

УДК 528.48

Авторы: Авакян Вячеслав Вениаминович, Максимова Майя Владимировна.

Задания и методические указания к работам по курсу «Прикладная геодезия». Часть 1. Электронная книга, 61 стр. формата А4, 2014 г.

Методические указания написаны в соответствии с программой курса «Прикладная геодезия», рекомендованы к изданию кафедрой прикладной геодезии.

В методических указаниях приводится программа курса, задания для решения задач и выполнения контрольных работ, а также даются рекомендации по изучению отдельных разделов курса «Прикладная геодезия».

Рис. 18, Таблиц 6, библиография из 10 наименований

Рецензенты: доцент кафедры геодезии МИИГАиК, к. т. н. Алексашина Е.В.
Доцент каф. прикладной геодезии МИИГАиК, к.т.н. Яндров И.А.

Кафедра Прикладной геодезии МИИГАиК

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....4

ПРОГРАММА КУРСА…….....4

1. ОПОРНЫЕ И РАЗБИВОЧНЫЕ СЕТИ. ПОДГОТОВКА ПРОЕКТА СООРУЖЕНИЯ……..6

2. ИЗЫСКАНИЯ ТРАСС ЛИНЕЙНЫХ СООРУЖЕНИЙ

2.1. Инженерно-геодезические изыскания их назначение и состав.....11

2.2. Общие сведения об изысканиях трасс линейных сооружений.....12

2.3. Автомобильные дороги.....14

2.4. Основные элементы плана и профиля трассы автодороги.....16

2.5. Камеральное трассирование 18

2.6. Проектирование продольного профиля.....21

3. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАЗБИВОЧНЫЕ РАБОТЫ

3.1. Этапы и основные элементы разбивочных работ.....24

3.3. Способы разбивочных работ.....28

4. УКАЗАНИЯ ПО РАБОТЕ НАД ТЕМАМИ.....38

5. ЗАДАНИЯ К КОНТРОЛЬНЫМ РАБОТАМ ……....39

5.1. Контрольная работа №1……...……41

5.2. Контрольная работа №2……..……46

5.3. Контрольная работа №3……..……53

Литература.....61

ВВЕДЕНИЕ

В курсе прикладной геодезии изучают состав и методы инженерно-геодезических изысканий для строительства, технику и технологию производства инженерно-геодезических разбивочных работ при строительстве инженерных сооружений, методы и приборы геодезического обеспечения монтажа конструкций и технологического оборудования. Кроме того в прикладной геодезии изучаются технологию наблюдений за осадками и деформациями сооружений и способы производства исполнительных съёмок.

На V курсе Факультета дистанционных форм обучения студенты изучают следующие разделы курса:

- Опорные инженерно-геодезические сети
- Разбивочные инженерно-геодезические сети
- Инженерно-геодезические изыскания для строительства.
- Инженерно-геодезические разбивочные работы.

ПРОГРАММА КУРСА

Раздел 1.ОПОРНЫЕ И РАЗБИВОЧНЫЕ СЕТИ. ПОДГОТОВКА ПРОЕКТА СООРУЖЕНИЯ

Инженерно-геодезические работы для строительства. Классификация и технические характеристики плановых геодезических сетей Методы построения плановых опорных геодезических сетей. Спутниковые технологии построения опорных сетей. Сгущение спутниковой сети полигонометрическими ходами. Высотные опорные геодезические сети. Разбивочные сети. Геодезическая техника в прикладной геодезии. Геодезическая подготовка проекта сооружения. Геометрическая точность в строительстве.

Раздел 2. ИЗЫСКАНИЯ ТРАСС ЛИНЕЙНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Общие сведения об изысканиях трасс линейных сооружений. Автомобильные дороги. Основные элементы плана и профиля трассы автодороги. Камеральное трассирование. Построение продольного и поперечного профилей

трассы. Проектирование продольного профиля. Полевое трассирование. Детальная разбивка круговых кривых. Нивелирование трассы. Разбивка земляного полотна.

Раздел 3. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАЗБИВОЧНЫЕ РАБОТЫ

Состав геодезических работ для строительства. Проект производства геодезических работ. Этапы и основные элементы разбивочных работ. Способы разбивочных работ. Геодезическая подготовка проекта сооружения. Аналитическая подготовка для выноса на местность проекта сооружения. Нормы точности производства геодезических работ. Геометрическая точность в строительстве. Допуски разбивочных работ. Геодезический контроль точности геометрических параметров здания.

ЗАМЕЧАНИЯ

Изучение разделов курса осуществляется по приведённому на сайте МИИГАиК «Курсу лекций» по Прикладной геодезии: Часть 1, Часть 2, Часть 3. Кроме того, в списке литературы Курса лекций, Ч.1 указан перечень литературных источников из 45 наименований.

Задачами и контрольными работами охватить содержание курса не представляется возможным. По этой причине рассматриваемые далее разделы носят несколько несвязанный характер, но призваны вести студента от простого к сложному, от элементарных понятий к сути предмета.

Усвоение каждого из разделов курса завершается решением задач и выполнением контрольной работы в соответствии с прилагаемым заданием.

1. ОПОРНЫЕ И РАЗБИВОЧНЫЕ СЕТИ. ПОДГОТОВКА ПРОЕКТА СООРУЖЕНИЯ

Инженерно-геодезические опорные *плановые* и *высотные* сети создаются на территориях городов, крупных промышленных, энергетических, горнодобывающих объектов и служат геодезической основой для производства проектно-изыскательских и строительных работ.

Плановые геодезические сети вообще подразделяются на четыре вида: государственные, сети сгущения, съёмочные и специальные. Государственные геодезические сети служат исходными для построения всех других видов сетей. В настоящее время для построения государственных плановых сетей применяют спутниковые методы.

Современная реконструкция и дальнейшее развитие государственной геодезической сети (ГГС) РФ базируется на активном применении спутниковых технологий. Предполагается, что спутниковая геодезическая сеть (СГС) будет включать в себя построения трёх уровней. Верхний уровень занимает фундаментальная астрономо-геодезическая сеть (ФАГС). На следующем уровне находится высокоточная спутниковая геодезическая сеть (ВГС), а третий уровень занимает спутниковая сеть 1 класса (СГС-1).

Таким образом, с учётом существующих плановых геодезических сетей, структура государственной геодезической сети РФ по точности определения положения пунктов может быть подразделена на:

- фундаментальную астрономо–геодезическую сеть (ФАГС);
- высокоточную геодезическую сеть (ВГС);
- спутниковую геодезическую сеть 1 класса (СГС-1);
- астрономо – геодезическую сеть 1 и 2 классов (АГС);
- государственную геодезическую сеть 3 и 4 классов;
- геодезические сети сгущения.

Пункты указанных геодезических сетей, связанные между собой геодезическими измерениями, могут быть совмещены.

Геодезические сети 3 и 4 класса, сети сгущения, съёмочные сети, специальные геодезические и разбивочные сети могут быть объединены общим названием – *инженерно-геодезические сети*. При построении инженерно-

геодезических сетей в качестве опорных используются государственные геодезические сети (АГС 1 и 2 классов, спутниковые сети высших классов).

Необходимость в построении инженерно-геодезических сетей возникает при изысканиях площадок под строительство и проектировании сооружений, составлении генеральных планов городов и посёлков, разработке технических проектов и рабочих чертежей гражданских, промышленных, гидротехнических, транспортных и других сооружений, при строительстве этих сооружений.

В более широком смысле инженерно-геодезические сети предназначены для решения практических задач:

- топографической съемки и обновления планов населённых пунктов всех масштабов;
- землеустройства, межевания, инвентаризации земель;
- топографо-геодезических изысканий на территориях предполагаемого строительства;
- инженерно-геодезической подготовки объектов строительства;
- геодезического изучения локальных геодинамических природных и техногенных явлений на территории городов и посёлков.

Требования к точности и плотности пунктов плановых инженерно-геодезических сетей достаточно разнообразны.

Исходным началом для расчёта точности плановых геодезических сетей, предназначенных в качестве обоснования топографических съёмок, является требование к точности построения съёмочных сетей. Требование таково: предельные ошибки положения пунктов уравненного съёмочного обоснования относительно пунктов государственной геодезической сети и геодезических сетей сгущения не должны превышать на открытой местности и застроенных территориях 0,2 мм на плане. Так, для планов масштаба 1:500 предельные ошибки координат пунктов сети съёмочного обоснования выразятся величиной 0,10 м, а для съёмочных сетей при производстве съёмок в масштабе 1:2000 эта величина составит 0,40 метра. Однако, поскольку опорные геодезические сети на застроенных и незастроенных территориях городов, посёлков и промышленных предприятий проектируются с учётом возможности их последующего сгущения и развития для обоснования топографической съёмки в масштабе 1:500, а также для производства инженерно-геодезических разбивочных работ, то их точность, естественно, определяется предельной ошибкой в координатах 0,10 м.

Предельная погрешность (то же, что и предельная ошибка) взаимного планового положения смежных пунктов опорной геодезической сети после её уравнивания установлена «СП 47.13330.2012. (СП 11-104-97). Инженерно-геодезические изыскания для строительства. Госстрой России. М. ПНИИИС, 1997» и составляет 5 см. Следовательно, средняя квадратичная погрешность взаимного положения пунктов, при доверительной вероятности 0,95 не должна превышать 2,5 см.

Требования к точности производства разбивочных работ могут быть значительно выше точности топографической съёмки. В таком случае создаются специальные опорные инженерно-геодезические сети. При построении таких локальных сетей пункты старших классов используются только для передачи дирекционного угла на одну из сторон сети и координат на один из пунктов этой сети.

Способы построения инженерно-геодезических сетей могут быть различными, как традиционными – это *триангуляционные* построения, *трилатерация*, *линейно-угловые* сети и *полигонометрия*, но также могут быть применены новые методы построения, *спутниковые*.

Основным достижением спутникового метода, безусловно, является исключительно высокая точность определения приращений координат. Спутниковые системы постоянно совершенствуются, но уже сегодня приращения координат между двумя спутниковыми приёмниками могут быть определены со средней квадратической погрешностью 5 мм + $D \cdot 10^{-6}$, где D – расстояние между пунктами. Сравнив эту величину с обозначенным выше требованием СП 47.13330.2012 (СП 11-104-97) относительно погрешности взаимного положения пунктов опорной сети, легко видеть, что применение сегодня спутниковых технологий для построения инженерно-геодезических сетей не просто обеспечивает эти требования, но перекрывает их по точности в 5 раз.

В общем случае построение опорных сетей, сетей сгущения или съёмочного обоснования, а также разбивочных сетей с применением спутниковой технологии (аппаратуры и методов) не имеет существенных ограничений, поскольку точность этой технологии выше существующих требований к точности построения большинства инженерно-геодезических сетей.

Плотность пунктов опорной и съёмочной геодезических сетей должна составлять на незастроенной территории на 1 км^2 не менее 4, 12, 16 пунктов для

съёмок в масштабах соответственно 1:5000, 1:2000 и 1:1000.

Для съёмки в масштабе 1:500 плотность пунктов должна устанавливаться программой изысканий.

Высотные опорные геодезические сети на территориях, предназначенных для проведения инженерно-геодезических изысканий, производства разбивочных работ на строительных площадках и реализации проектов наблюдений за осадками и деформациями зданий и сооружений строятся в виде сетей нивелирования II, III и IV классов, а также технического нивелирования в зависимости от площади и характера строительства. Требования к точности построения высотной геодезической основы в зависимости от площади производства инженерно-геодезических работ приведены в таблице 1.

Требования к точности высотных сетей ***Таблица 1.***

Площадь участка изысканий, км^2	*Класс высотной сети*	*Предельная погрешность превышения на станции, мм*
От 25 до 50	III класс IV класс Техническое нивелирование	2,6 5,0 10,0
От 10 до 25	IV класс Техническое нивелирование	5,0 10,0
От 5 до 10	IV класс Техническое нивелирование	5,0 10,0
До 1	Техническое нивелирование	10,0

Нивелирная сеть площадки изысканий или строительства создаётся в виде отдельных ходов, систем ходов (полигонов) или в виде самостоятельной сети, которая должна быть привязана не менее чем к двум исходным нивелирным знакам (реперам) высшего класса. Допускается производить привязку линий нивелирования опорной геодезической сети IV класса к реперам государственной нивелирной сети IV класса.

Приборы для геометрического нивелирования. Геометрическое нивелирование выполняется комплектом оборудования, состоящим из нивелира, установленного на штативе, и пары реек. Естественно, основной частью комплек-

та является нивелир.

Конструкция прибора постоянно изменяется и совершенствуется. В настоящее время самыми распространенными являются автоматические оптические нивелиры – приборы, имеющие специальный конструктивный узел, который называется компенсатором. Компенсатор служит для автоматического поддержания визирной оси нивелира в горизонтальном (рабочем) положении.

Такой подход значительно повышает надежность получаемых результатов, облегчает труд исполнителей и экономит рабочее время. Развитие современных технологий привело к созданию новых видов приборов: электронных (цифровых) и лазерных нивелиров.

Цифровые нивелиры применяются со специальными штрих-кодовыми рейками, используя которые можно измерять не только превышение, но и расстояние между точками, а также горизонтальные углы. Цифровые нивелиры не только повышают точность и скорость работы, но и исключают одну из основных ошибок нивелирования – ошибку наблюдателя.

При проектировании нивелирные ходы стремятся располагать по шоссейным или грунтовым просёлочным дорогам, избегая участков местности с большими уклонами, болотами и торфяниками.

На территориях городов нивелирные трассы намечают вдоль улиц с небольшим движением транспорта и пешеходов.

На территориях гидроузлов сеть знаков высотного обоснования проектируют с таким расчётом, чтобы исходные пункты в виде кустов реперов располагались в стабильных грунтах. Эти реперы используют для контроля рабочих реперов при наблюдениях за осадками и деформациями конструкций гидроузла, а также для передачи высот на монтируемые элементы сооружения.

Пункты высотного обоснования закрепляются нивелирными знаками (грунтовыми реперами и стенными реперами и марками), конструкции которых рассмотрены в [1, 2, 4 и др.].

2. ИЗЫСКАНИЯ ТРАСС ЛИНЕЙНЫХ СООРУЖЕНИЙ

2.1. Инженерно-геодезические изыскания, их назначения и состав.

Под инженерными изысканиями понимают комплексное изучение природных и экономических условий района будущего строительства. В результате инженерных изысканий получают материалы, необходимые для разработки экономически целесообразных и технически обоснованных решений при проектировании объектов народного хозяйства с учётом рационального использования и охраны окружающей среды. На основе изысканий вырабатываются прогнозы изменений природной среды под воздействием строительства и эксплуатации предприятий и сооружений.

Изыскательские работы предшествуют проектным и подразделяются на инженерно-геодезические, экологические, инженерно-геологические, инженерно-гидрометеорологические изыскания и некоторые другие.

Под инженерно-геодезическими изысканиями понимают комплекс работ, обеспечивающих получение топографо-геодезических материалов (планов различных масштабов, профилей и т.п.) для проектирования, строительства или реконструкции предприятий или сооружений.

Инженерно-геодезические изыскания позволяют получить информацию о рельефе и ситуации местности и служат основой не только для проектирования, но и для проведения других видов изысканий и обследований. В процессе инженерно-геодезических изысканий выполняют работы по созданию геодезических плановых и высотных сетей, которые являются основой топографических съёмок разных масштабов, производят трассирование линейных сооружений, планово-высотную привязку геологических выработок, точек геофизической разведки и многие другие работы.

В зависимости от назначения и вида сооружений, площади изучаемого участка и стадии проектирования в состав инженерно-геодезических изысканий входят:

- изучение физико-географических и экономических условий участка;
- сбор и анализ имеющихся топографо-геодезических материалов на

район строительства;

- построение или развитие опорных геодезических сетей 3 и 4 классов, геодезической сети сгущения 1 и 2 разрядов и нивелирной сети II – IV классов;
- создание планово-высотной съёмочной геодезической сети;
- топографическая съёмка в масштабах 1:5000; 1:2000; 1:1000; 1:500, включая съёмку сооружений и подземных коммуникаций, издание топографических материалов;
- трассирование линейных сооружений;
- геодезическое обеспечение инженерно-геологических, гидрографических и др. видов изысканий;
- геодезические стационарные наблюдения за деформациями оснований зданий и сооружений, земной поверхности и толщи горных пород в районах развития опасных природных и техногенных процессов.

В ряде случаев по заданию заказчика на участке застройки может выполняться топографическая съёмка масштаба 1:200.

2.2. Общие сведения об изысканиях трасс линейных сооружений

К линейным сооружениям относят сооружения, имеющие значительную протяжённость вдоль одной из своих осей и занимающие небольшое пространство в перпендикулярном к ней направлении. К таким сооружениям относятся все виды автомобильных и железных дорог, каналы и трубопроводы, воздушные и подземные линии связи и линии электропередач (ЛЭП) и др.

Изыскания линейных сооружений ведутся комплексно, с привлечением всех основных видов изыскательских работ: геодезических, геологических, экологических, гидрометеорологических, экономических и др. Главной задачей изысканий линейных сооружений является выбор оптимального варианта трассы. При этом должны быть решены не только чисто технические и экономические задачи, но и прогнозироваться экологические изменения природной среды.

Изыскания трасс проводят в полном соответствии со стадиями проектирования: технико-экономическое обоснование – ТЭО, технический проект – ТП, рабочая документация – РД. На первой стадии решаются принципиальные во-

просы, определяется экономическая целесообразность строительства, сравниваются возможные варианты трассы по укрупнённым показателям, решаются вопросы снабжения материалами и трудовыми ресурсами.

На стадии технического проекта на местности выбирается оптимальное положение трассы, устанавливаются технические параметры, конструкция основных сооружений и полная стоимость строительства.

На стадии рабочей документации уточняются все конструктивные решения, проводится окончательная укладка трассы и закрепление её на местности.

Элементы трассы. Трассой называется ось проектируемого линейного сооружения, обозначенная на местности, нанесённая на топографическую карту или фотоплан, заданная координатами основных точек в цифровой модели местности. Основными элементами трассы являются: *план* – её проекция на горизонтальную плоскость и *продольный профиль* – вертикальный разрез по проектируемой линии см. рис. 2.1.

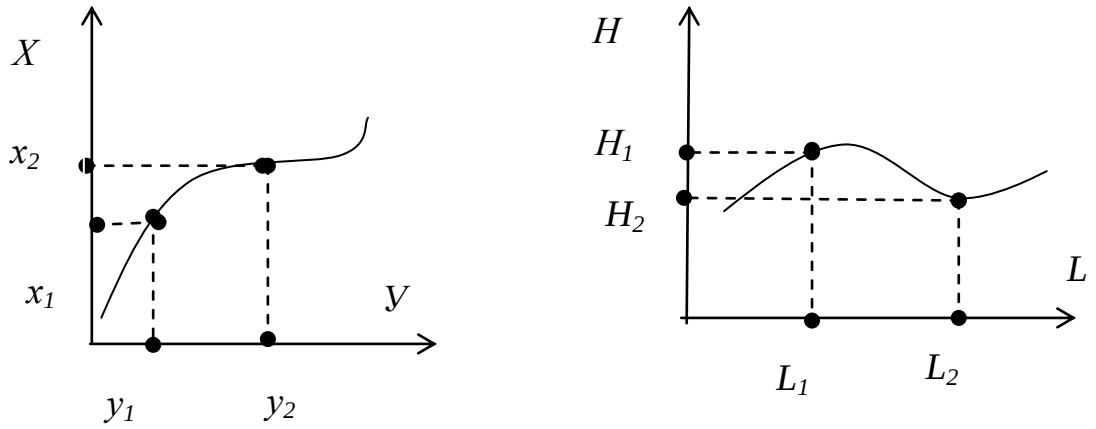


Рис. 2.1. План и профиль трассы

Трасса представляет собой сложную пространственную линию. В плане она состоит из прямых участков разного направления, сопрягающихся между собой горизонтальными кривыми постоянного и переменного радиуса кривизны рис. 2.2. В продольном профиле трасса состоит из линий различного уклона, соединяющихся между собой вертикальными кривыми.

На ряде трасс (электропередач, канализации) горизонтальных и вертикальных кривых не проектируют, и трасса представляет собой пространственную ломаную линию.

Параметры трассирования. Трасса должна удовлетворять определённым

требованиям, которые устанавливаются техническими условиями на её проектирование. Для трасс транспортных магистралей, например, задаются наибольшие или наименьшие продольные уклоны, минимально допустимые радиусы горизонтальных и вертикальных кривых, габариты приближений и др.

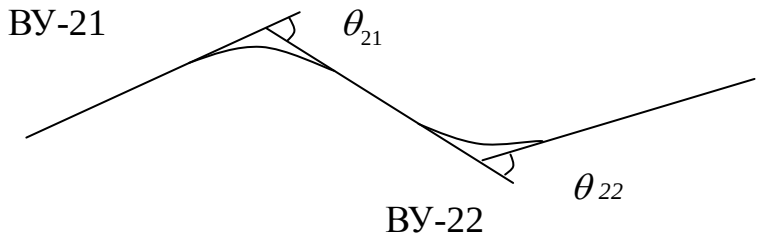


Рис. 2.2. Элементы плана трассы

Трассирование. Комплекс инженерно – изыскательских работ по выбору трассы, отвечающей всем требованиям технических условий и требующей наименьших затрат на её сооружение и эксплуатацию, называется трассированием. Оптимальную трассу находят путём технико-экономического сравнения конкурирующих вариантов.

Если трассирование линейного сооружения осуществляется по топографическим планам, аэрофотоматериалам, цифровым моделям местности, то такое трассирование называется *камеральным*; если трасса выбирается непосредственно на местности, то трассирование называется *полевым*.

При трассировании различают плановые параметры: углы поворота, радиусы горизонтальных кривых, длины переходных кривых, прямые вставки и высотные параметры: продольные уклоны, длины элементов в профиле, радиусы вертикальных кривых.

2.3. Автомобильные дороги

Сеть автомобильных дорог является одним из главных факторов, определяющих уровень экономического развития территории, и обеспечивает хозяйственные, административные и культурные связи как внутри региона, так и между регионами.

При проектировании и строительстве автомобильных дорог руководствуются СНиП 2.05.02-85 «Автомобильные дороги. Нормы проектирования». В этом нормативном документе все автомобильные дороги классифицируются на

5 категорий исходя из перспективной интенсивности движения (автомобилей в сутки) на 20 лет вперёд.

Все элементы дороги каждой категории рассчитывают на обеспечение безопасного движения автомобилей с так называемой расчётной скоростью. Предельно допустимые уклоны профиля дороги, равно как и минимальные радиусы горизонтальных закруглений также зависят от категории дороги. Лимитированы также радиусы вертикальных кривых.

Категории автодорог ***Таблица 2.1.***

Категория дороги	Iа	Iб	II	III	IV	V
Предельная интенсивность авт. в сутки.	>7000	>7000	≤7000	≤3000	≤1000	<200
Расчётная скорость в км/час	150	120	120	100	80	60
Пред. уклон в ‰	30	40	40	50	60	70
Радиус кривой, м	1200	800	800	600	300	150
Видимость, м	210	175	175	140	100	75
Проезжая часть, м	15 - 30	15 – 22,5	7,5	7,0	6,0	4,5
Обочина, м	3,75	3,75	3,75	2,5	2,0	1,75
Дорожное полотно, м	28-43	27-35	15	12	10	8

Основные параметры автомобильных дорог в зависимости от категории приведены в таблице 2.1.

Для обеспечения удобств и безопасности движения с расчётной скоростью по кривым малых радиусов в конструкции дороги предусматривают дополнительные устройства: виражи, переходные кривые, уширение проезжей части и срезка видимости. Вираж это односкатный поперечный профиль дороги с уклоном проезжей части и обочин к центру кривой. СНиП предусматривает уширение проезжей части дорог на кривых с радиусами менее 1000 м. Проезжую часть уширяют с внутренней стороны кривой за счёт обочины, а для целей обеспечения безопасного движения транспорта в зависимости от его скорости

следует выдерживать определённые расстояния прямой видимости.

Автомобильные дороги имеют разнообразные искусственные сооружения, устраиваемые для преодоления различных препятствий или для придания её полотну устойчивости. Это мосты, предназначенные для прохода через водные препятствия, реки, каналы, заливы, ручьи и т.п.; виадуки, пропускающие дороги через глубокие долины, балки, овраги и суходолы; эстакады, трубы, тоннели и т.п.

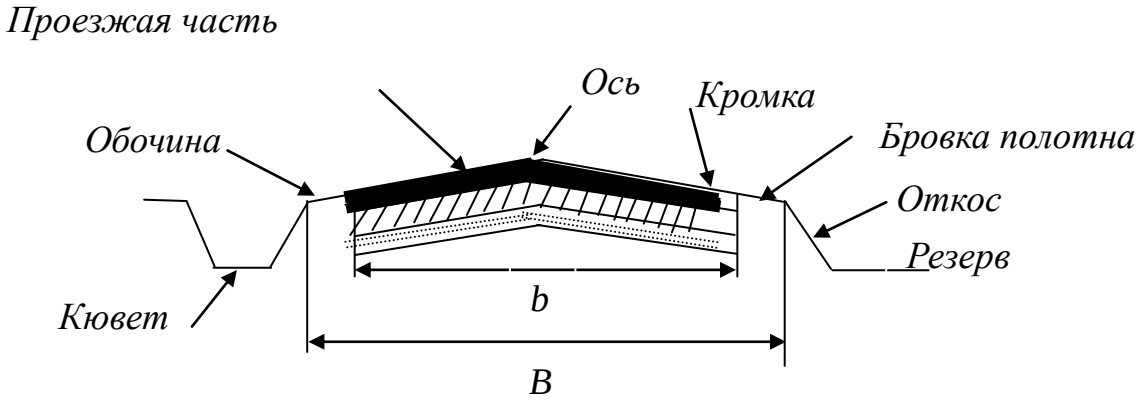


Рис. 2.3. Устройство автомобильно-дорожного полотна.

Полотно автомобильной дороги (рис. 2.3) включает проезжую часть – полосу, по которой происходит движение автомобилей. Число полос движения зависит от категории дороги: Iа – 4-8 полос; Iб – 4-6 полос; II-IV – 2 полосы и V – 1 полоса движения. Обочины это полосы по бокам проезжей части, используемые для кратковременной стоянки автомобилей и складирования материалов при ремонте дорог. Боковые канавы служат для отвода воды и осушения полотна дороги.

2.4. Основные элементы плана и профиля трассы автодороги

План трассы. В плане трассу автомобильной дороги высших категорий проектируют с минимальной протяжённостью прямых вставок как сочетание дуг окружности с радиоидальными спиралями – клотоидами или как кривые с непрерывно изменяющейся кривизной, аппроксимируемые кубическими полиномами-сплайнами. Автодороги низших категорий в плане состоят, как сказано ранее, из прямых участков разного направления, сопрягающихся между собой горизонтальными кривыми постоянного или переменного радиуса кривизны.

Каждое изменение направления трассы характеризуется *углом поворота* трассы, который измеряют между продолжением предыдущего прямого участка трассы и новым ей направлением. Углы поворота последовательно нумеруют вдоль трассы, следуя от её начала.

.Проект трассы выносят на местность по координатам её углов поворота. Разбивку производят от пунктов геодезической основы или от ближайших чётких контуров, надёжно закрепляют и составляют схему привязки.

По оси трассы производят разбивку пикетажа, т.е. разбивают и закрепляют на местности 100 метровые интервалы, называемые пикетами.

Основными элементами круговых кривых (рис. 2.4) являются: угол поворота трассы θ, измеряемый на местности или на топографической карте; радиус кривой R, который назначается в зависимости от условий местности и категории трассы; длины касательных $AC=BC=T$, называемые тангенсами,

$$T = R \cdot tg\frac{\theta}{2}; \qquad (2.1)$$

длина кривой $AFB=K$

$$K = R \cdot \pi \frac{\theta^{\circ}}{180^{\circ}}; \qquad (2.2)$$

длина биссектрисы $CF=Б$

$$Б = R(\sec\frac{\theta}{2} - 1); \qquad (2.3)$$

величина домера $Д=2T-K$.

По приведённым формулам для аргументов R и θ составлены таблицы кривых.

Точка C называется вершиной угла поворота (*ВУ*), точки A,F и B соответственно начало кривой (*НК*), середина кривой (*СК*) и конец кривой (*КК*). Перечисленные точки называются главными точками кривой. Пикетажные наименования главных точек кривой находят из выражений

$$пк\ НК = пк\ ВУ - T;$$

$$пк\ КК = пк\ НК + K; \qquad (2.4)$$

$$пк\ СК = пк\ НК + K/2.$$

Начало кривой *НК* в натуре находят путём откладывания от вершины угла в обратном направлении величины тангенса *Т*. По направлению возрастания пикетажа, отложив значение тангенса, находят конец кривой. Вычисления по формулам 2.4 контролируются:

$$пк\ КК = пк\ ВУ + Т – Д;$$

$$пк\ СК = пк\ КК – К/2.$$

2.5. Камеральное трассирование

Выбор положения трассы. Камеральное трассирование выполняют на топографических картах разных масштабов в зависимости от стадии проектирования. На картах мелкого масштаба наносят опорные пункты трассы и проводят так называемые воздушные линии, определяющие генеральные направления трассы. Эти направления уточняются на картах средних масштабов (1:50000 – 1:25000). По выбранному основному направлению трассы выполняют изыскания для первой стадии проектирования, в процессе которых определяют оптимальное положение и сбор достоверных и полных материалов для разработки проекта трассы и всех сооружений на ней.

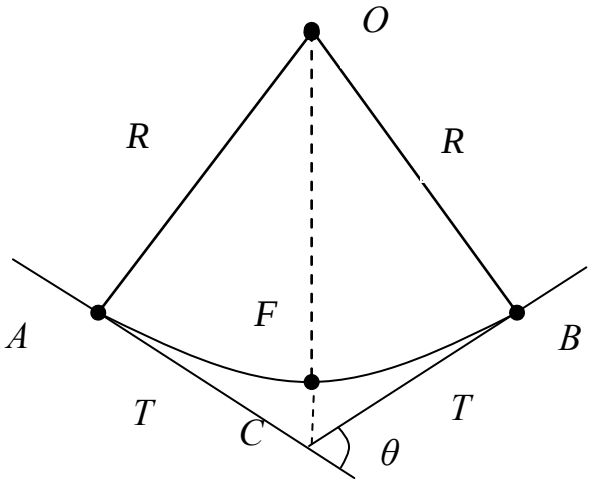


Рис. 2.4. Элементы круговой кривой

Проектные изыскания магистральных трасс производят аэрометодами (масштабы съёмки 1:10000 – 1:15000) с полевой привязкой аэрофотоснимков, дешифрированием и натурными обследованиями.

Исходные данные для проектирования отражаются в техническом задании, в котором устанавливается её категория, а также максимально допустимый продольный уклон $i_{пр.}$, наименьшие радиусы кривых в плане и продольном профиле.

В зависимости от условий местности камеральное трассирование выполняют или способом попыток, или построением линии заданного уклона. Способ попыток применяют в равнинной местности на участках «вольных ходов». Между фиксированными точками намечают на карте кратчайшую трассу и составляют по ней продольный профиль местности с проектом красной линии.

Для получения наиболее короткой трассы в равнинных районах придерживаются следующих правил трассирования:

- трассу прокладывают по прямой от одного контурного препятствия к другому;
- вершины углов поворота выбирают против середины препятствия с таким расчётом, чтобы трасса огибала это препятствие;
- углы поворота стремятся иметь по возможности не более 20 - 30º.

Существует ряд ограничений на положение трассы, вызванных необходимостью обхода крупных форм рельефа, населённых пунктов, лесов, зон развития физико-геологических процессов. Неблагоприятные участки пересекаются в наиболее узких местах или в зонах наименьшего проявления сложных для прокладки дороги факторов.

В горных условиях на участках «напряжённых ходов» самым распространённым приёмом камерального трассирования является нахождение на топографической карте в заданном направлении линии предельного допустимого уклона для данной категории трассы.

По карте масштаба *1:M* и высоте сечения рельефа *h* определяют величину заложения *l* на карте для предельного уклона трассирования:

$$l = \frac{h}{i_{пр}} \frac{1}{M}. \qquad (2.5)$$

Из начальной точки, придерживаясь основного направления трассы, раствором циркуля, равным *l*, засекают соседнюю горизонталь. Из полученной точки вновь засекают этим же раствором циркуля точку следующей горизонтали и т. д. При пересечении оврагов к тальвегу не спускаются, а переходят сразу

на другую сторону, засекая одноимённую горизонталь. Так же поступают при пересечении рек, стремясь вести трассу перпендикулярно руслу.

Таким образом, получают на карте точки, образующие линию равных уклонов, или так называемую линию нулевых работ. Так как эта линия обычно весьма извилиста, то её спрямляют, вписывают кривые и разбивают пикетаж.

Разбивка пикетажа. Пикетаж применяется как система координирования протяжённых объектов (дорог, трубопроводов, линий электропередач) путём их разметки на участки длиной 100 м. Начало трассы принимают за нулевой пикет (*пк 0*) и раствором циркуля, равным 100 м в масштабе плана отмечают по оси трассы последовательно расположение пикетов. Дойдя до первой вершины угла, находят её пикетажное значение. По формулам (2.1) – (2.3), задавшись значением радиуса, рассчитывают элементы кривой и вычисляют пикетажные значения главных точек кривой по формулам (2.4). От конца кривой, по его пикетажному значению находят величину отрезка до следующего пикета и откладывают этот отрезок, отмечая положение пикета. Разбивку продолжают до следующей вершины угла.

По горизонталям определяют высоты пикетов и характерных перегибов местности с точностью 0,2 мм и составляют продольный профиль, по которому рассчитывают проектную (красную) линию. В местах, где получаются большие объёмы земляных работ, сообразуясь с высотами рельефа на карте, трассу несколько смещают в ту или иную сторону и перепроектируют этот участок.

Продольный профиль дороги это её разрез по оси, иначе говоря, развёрнутая в плоскости чертежа проекция оси дороги на вертикальную плоскость. Продольный профиль характеризует крутизну отдельных участков дороги, и расположение её проезжей части относительно поверхности земли. Крутизна ската измеряется продольным уклоном, который является важнейшей характеристикой транспортных качеств автомобильной дороги и его максимально допустимое значение устанавливается в зависимости от категории дороги.

Детальные разъяснения относительно приёмов построения продольного профиля проводятся в задании. Здесь же приведём некоторые общие пояснения по его составлению.

Продольный профиль строится на миллиметровой бумаге. Горизонтальный масштаб построения обычно выбирается равным 1:5000 или 1:10000, а вертикальный назначают в десять раз крупнее горизонтального.

Порядок расположения строк профильной сетки, их наименование и число приводится в задании.

Длину профиля легко установить по номеру последнего пикета, а высоту по разности наибольшей и наименьшей отметок. Начало отсчёта высот на профиле назначают так, чтобы самая низкая точка профиля отступала от верхней строки профильной сетки на 5-6 см. Для большинства линейных сооружений обычными строками профильной сетки являются «Километры», «План пути», «Пикетаж», «Расстояния», «Отметки земли», «Проектные отметки: а) земляного полотна; б) кюветов».

В графе «Ситуация» красным цветом по средине наносится ось трассы, а слева и справа от неё глазомерно отражаются объекты ситуации в полосе 100-200 м. Стрелками показываются углы поворота трассы.

В графе «План пути» по пикетажу определяются начало и конец кривых. Кривые наносятся на ось трассы выпуклостью вниз при повороте трассы налево и выпуклостью вверх при повороте направо. Внутри кривых выписывают угол поворота трассы θ и радиус кривой R. Длины прямых участков вычислят по разностям пикетажных значений их начала и конца. Кроме того выписывается румб прямого участка. Для этого по карте измеряется транспортиром румб одного (длинного) участка трассы, а румбы остальных вычисляют по углам поворота.

Все существующие на карте элементы вычерчиваются чёрным цветом, а все проектные – красным.

2.6. Проектирование продольного профиля.

Проектирование земляного полотна начинают с точек, высоты которых фиксированы. Это могут быть участки мостовых переходов, перевалы, пересечения с крупными транспортными магистралями. Высоты таких точек определяют графически по карте как отметки земли с учётом высоты насыпи или выемки, если таковые проектируются.

При проектировании земляного полотна будущей автомобильной дороги следует придерживаться некоторых правил:

- проектные уклоны не должны превышать заданного значения;
- уклоны вычисляются по известной формуле ($i = h/d$) с округлением

до 0,001; для вычисления $h = H_к - H_н$ высоты начала и конца участка с однообразным уклоном берутся с профиля графически;

- алгебраическая разность уклонов $i_2 - i_1$ на смежных участках профиля не должна быть больше заданного предельного уклона;
- следует проектировать минимальный объём земляных работ, причём объём грунта в выемках проектируют приблизительно равным объёму в насыпи;
- желательно, чтобы переломы профиля не совпадали с плановыми кривыми;
- на равнинных участках значительного протяжения земляное полотно следует проектировать в насыпи высотой 1 – 1,5 м, что обеспечит водоотвод с полотна и сохранит его от снежных заносов;
- на участках пересечения трассы с водотоками следует проектировать трубы диаметром 0,5 – 1 м или мостовые переходы с учётом горизонта вешних вод, но выше уреза воды на 5 – 8 м.

Мостовые переходы через средние и большие реки должны располагаться на прямых (в плане) и на горизонтальных (в профиле) площадках.

Проектные (красные) отметки пикетов и любых других точек в пределах участка с однообразным значением уклона *i* рассчитываются аналитически по формуле:

$$H_k = H_н + id\,, \qquad (2.6)$$

где $H_н$ - высота начальной точки участка, полученная графически, а d – расстояние от начальной до данной точки профиля.

Рабочие отметки вычисляются как разность проектных отметок точек трассы и отметок земли. Точки перехода проектной линии из выемки в насыпь или наоборот, называются *точками нулевых работ.*

Вертикальные кривые проектируют на автомобильных дорогах с целью плавного сопряжения смежных участков профиля и улучшения видимости. Вертикальные кривые проектируют только на тех переломах проектного профиля, где величина биссектрисы вертикальной кривой оказывается более 0,5 м.

Радиус вертикальной кривой на автомобильных дорогах зависит от категории дороги и характера сопрягаемых уклонов и для выпуклых кривых назначается в пределах 27000 – 2500 м., а для вогнутых – в пределах 8000 – 1500 м.

Элементы вертикальных кривых $K_{ВК}$, $T_{ВК}$ и $Б_{ВК}$ могут быть вычислены по принятому радиусу и разности уклонов $\Delta i = (i_1 - i_2)$ по следующим приближённым формулам

$$K_{ВК} = R_{ВК}(i_1 - i_2);\ T_{ВК} = R_{ВК}\frac{i_1 - i_2}{2};\ Б_{ВК} = \frac{T_{ВК}^2}{2R_{ВК}}. \qquad (2.7)$$

Элементы вертикальных кривых строятся в принятом масштабе продольного профиля в графе «Земляное полотно». Построение начинают от точки перелома проектной линии в обе стороны, откладывая величину тангенса и получая, таким образом, начало и конец вертикальной кривой. Внутри обозначенного участка выписывают вычисленные элементы и привязку до ближайших пикетов.

Для начала и конца вертикальной кривой по проектным уклонам и расстояниям примыкающих участков находят проектные отметки. Отметку вершины кривой находят по значению биссектрисы.

Проектирование водоотвода. Для отвода воды от земляного полотна вдоль дороги устраивают боковые кюветы.

При проектировании кюветов следует придерживаться следующих правил:

- для насыпей более 0,6 м кюветы не проектируют;
- для насыпей высотой менее 0,6 м и нулевых отметок уклон кюветов назначают равным 3‰ в сторону понижения рельефа;
- в выемках, имеющих уклон 3‰ и более, уклон кюветов назначают равным уклону земляного полотна, а отметки дна кюветов – на 0,6 – 0,8 м ниже отметок земляного полотна;
- на горизонтальных площадках в выемках и на участках выемок с уклоном менее 3‰ водоотвод проектируют с минимальным уклоном, т.е. 3‰ от середины в две стороны.

Проектирование кюветов начинают с возвышенных участков трассы, последовательно вычисляя отметки дна кюветов по уклонам и расстояниям. В пределах вертикальных кривых, где уклоны непрерывно меняются, его не показывают, а пишут «Параллельно бровке».

3. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАЗБИВОЧНЫЕ РАБОТЫ

3.1. Этапы и основные элементы разбивочных работ

Весь процесс разбивки сооружения можно условно разделить на три этапа.

На первом этапе выполняются так называемые *основные разбивочные работы*. На местности находят и закрепляют главные или основные разбивочные оси сооружения. Основные разбивочные работы производят по данным привязки от пунктов геодезической разбивочной основы.

На втором этапе производится *детальная разбивка* сооружения, т.е. от закреплённых точек главных или основных осей разбиваются оси строительных конструкций и частей сооружения. Разбивку начинают с обозначения контура котлована, далее разбивают свайное поле, фундаменты, оси подземных сооружений и т. д. Одновременно с плановой разбивкой конструкций производится их высотная увязка с проектом. Детальная разбивка производится значительно точнее основных разбивочных работ, так как общее положение основных или главных осей сооружения, иначе говоря, положение самого сооружения относительно окружающей застройки не столь жёстко регламентировано. Это положение определяется эстетическими соображениями и требованиями стыковки коммуникаций нового строения с существующими.

В общем случае плановое положение нового строения может характеризоваться средней квадратической погрешностью около 3-5 см и грубее. Взаимное же положение детальных осей определяется с очень высокой точностью - 2÷3 мм и точнее.

Третий этап разбивочных работ для промышленных сооружений заключается в *разбивке осей технологического оборудования*. На этом этапе иногда требуется наивысшая точность, вплоть до долей миллиметра. Для реализации таких требований разрабатываются новые технологии производства работ, новая техника и методы измерений.

Перенесение проектов на местность в геодезическом отношении сводится к элементарным построениям на местности проектных горизонтальных углов и длин линий, плоскостей и проектных отметок. Построением этих элементов определяется пространственное положение конструкций будущего сооружения.

При *построении проектного горизонтального угла*, во-первых, должно быть рассчитано само значение этого угла β, должны быть заданы вершина A и

исходное направление *AB* см. рис. 3.1.

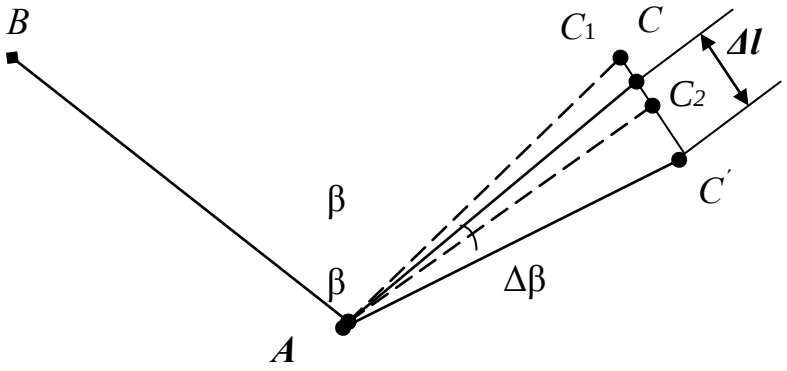


Рис. 3.1 Построение угла

Установив теодолит в точке *A,* наводятся на точку *B,* где заблаговременно центрируется визирная марка. Отсчёт по горизонтальному кругу обнуляется (для цифрового теодолита) и, вращением алидады добиваются отсчёта, равного проектному углу. Если используется оптический теодолит, то к отсчёту на точку *B* прибавляют значение угла β и вращением алидады добиваются отсчёта по горизонтальному кругу, равному вычисленному. Это направление визирной оси закрепляют на местности в точке C_1. Аналогичные действия выполняют при другом круге теодолита и отмечают на местности вторую точку C_2. Точка *C* берётся как среднее из двух построенных и принимается за окончательное значение проектного угла *BAC.*

Для цифровых (электронных) теодолитов и тахеометров описанная методика построения горизонтального угла не будет достаточно корректной, поскольку в этих приборах предусмотрены функции исправления коллимационной ошибки автоматическим введением коррекции в измеренные направления. Компенсируются также ошибки за наклон вертикальной и горизонтальной осей вращения, исключены ошибки за влияния эксцентриситета блока датчика угла. Поэтому построение горизонтального угла электронными приборами выполняют несколько иначе. Если требования к точности построения угла не очень высокие (несколько десятков секунд), то угол строят при одном круге с контролем, описанным выше способом для электронных приборов. Однако если необходимо построить проектный угол с повышенной точностью, то независимо от конструкции прибора поступают следующим образом. Построенный на местности каким либо способом угол измеряют несколькими приёмами и определяют его более точное значение. Необходимое число приёмов приближённо можно определить по формуле

$$n = \frac{m_o^2}{m_\beta^2}. \qquad (3.1)$$

Здесь m_0 номинальная средняя квадратическая ошибка измерения угла данным прибором; m_β - требуемая средняя квадратическая погрешность построения угла.

Измерив угол, и найдя среднее, вычисляют $\Delta\beta = \beta - \beta_1$ и находят поправку $\Delta l = l\frac{\Delta\beta}{\rho}$, где l расстояние от вершины до построенной точки. Иначе говоря, построенный угол исправляют, редуцируют. Для контроля угол измеряют повторно.

Точность построения угла на местности зависит от многих факторов. Основными ошибками построения являются ошибки визирования, центрирования, приборные ошибки и ошибка фиксации уже построенного угла.

При построении *проектного отрезка* длины необходимо от исходной точки отложить в заданном направлении расстояние, горизонтальное проложение которого равно проектному значению. При этом следует помнить, что в проектах и планах отражаются именно горизонтальные проекции линий.

Если построение отрезка производится электронным тахеометром, то необходимо отслеживать на дисплее именно горизонтальную составляющую строящегося расстояния и не забывать перед построениями, вводить в прибор исходные параметры атмосферы (температуру и давление) и поправку за постоянную прибора (отражателя).

Если построение проектного отрезка выполняется рулеткой, то подстилающую поверхность, на которую будет укладываться полотно мерного прибора необходимо предварительно подготовить: выровнить и, если необходимо, выстлать досками или другим подручным материалом. В измерения вводят поправки за компарирование мерного прибора, температуру и наклон местности.

Уравнение мерного прибора, иначе говоря, вероятнейшая его длина на момент измерений выглядит так:

$$l_t = l_n + \Delta l_k + \alpha l_{t_0}\left(t - t_0\right) + \beta l_{t_0}\left(t - t_0\right)^2 \qquad (3.2)$$

В этой формуле l_t – длина мерного прибора при температуре измерений t; l_n- номинальная длина мерного прибора; l_t- длина мерного прибора при температуре t_0, полученная из компарирования; α, β - коэффициенты температурного

расширения мерного прибора.

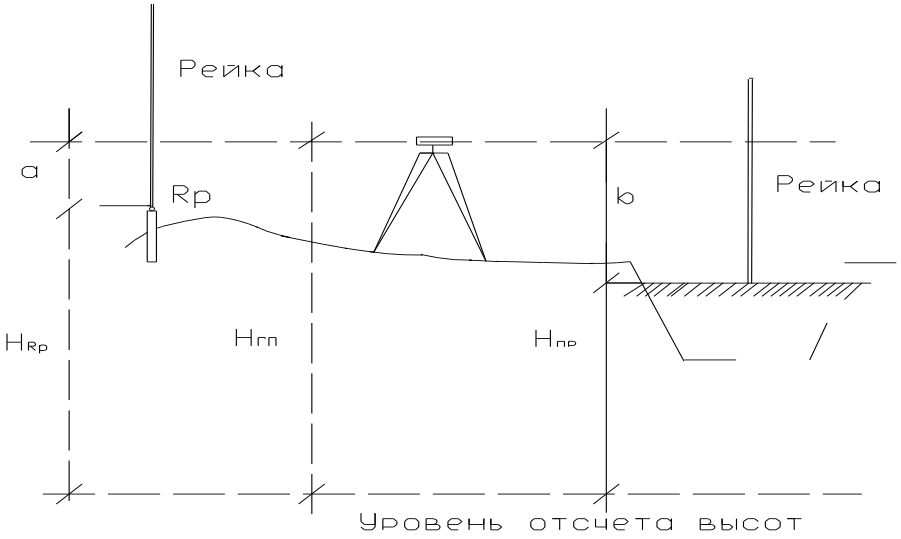


Рис. 3.2. Схема построения проектной отметки

Поправка за наклон местности (из-за превышения h одного конца линии над другим) вычисляется по формуле

$$l_h = h^2/2S + h^4/8S^3, \qquad (3.3)$$

где S – длина откладываемого отрезка.

При вынесении точки с данной *проектной отметкой* должны быть известны высота исходного репера и место или конструкция, на которой отмечается эта проектная отметка рис. 3.2.

Для выноса проектной отметки $H_{пр}$ устанавливают нивелир приблизительно посередине между репером с известной отметкой и выносимой точкой. На исходном репере устанавливают нивелирную рейку и производят отсчёт по этой рейке, вычисляя, таким образом, горизонт прибора:

$$H_{ГП} = H_{Rp} + a. \qquad (3.4)$$

По горизонту прибора и проектной отметке вычисляют такой отсчёт по рейке, как если бы она была установлена на проектной отметке: $b = H_{ГП} - H_{пр}$. Далее в нужном месте рейку перемещают так, чтобы прочитанный отсчёт по ней был бы равен вычисленному.

Вынесенную отметку контролируют, определяя её высоту из нивелирования по другому реперу с известной отметкой.

3.3. Способы разбивочных работ

Разбивочные работы по своему характеру и смыслу обратны съёмочным. Если в процессе съёмки контуров и предметов местности плановое положение точек определяется из измерений угловых и линейных величин, то при разбивочных работах координаты точки заданы в проекте, но её положение нужно найти на местности из построений угловых и линейных размеров. Разбивка точек производится теми же способами и по той же схеме, что и съёмка (способом полярных координат, прямой угловой засечки, прямоугольных координат, линейной и створной засечек и др.), но в обратной технологической последовательности.

Выбор способа разбивки зависит от условий производства работ, имеющихся средств измерений, схемы взаимного расположения пунктов исходной разбивочной основы и других факторов. Точность разбивки точки, в свою очередь, будет зависеть как от геометрии избранного способа, применяющихся средств, условий измерений и других факторов.

Ошибки, зависящие от геометрии способа разбивки, т.е. от способа построения на местности проектных линий и углов называют ошибками собственно разбивочных работ $m_{ср}$. Эти ошибки можно предрассчитать по известным в геодезии формулам.

Кроме этих ошибок на плановое положение разбиваемой точки влияют ошибки исходных данных $m_и$, т.е. ошибки в положении опорных пунктов, с которых производится разбивка, а также ошибки фиксации $m_ф$, т.е. проектирования точки с уровня визирной цели на поверхность разбивки. Эта ошибка при использовании нитяных отвесов может составлять 2-3 мм и более. При использовании визирных марок на оптических центрирах точку можно зафиксировать с ошибкой около 0,5 мм, если отмечать точку иглой, карандашом или гвоздём.

На положение разбиваемой точки оказывают влияние ошибки центрирования прибора и визирной цели, а также ошибки визирования. Ошибка визирования зависит от увеличения зрительной трубы прибора $Г^{х}$ и её подсчитывают по формуле

$$m_{виз} = 20'' / Г^{\times}. \qquad (3.5)$$

Кроме перечисленных, на точность разбивочных работ могут оказывать влияние ошибки из-за внешних условий: турбулентность воздушных масс и бо-

ковая рефракция.

Рассмотрим кратко основные способы выноса на местность точек, наиболее часто употребляемые в практике разбивочных работ.

Способ полярных координат. Это наиболее распространённый способ разбивки осей, конструкций, точек, особенно в связи с широким внедрением электронных тахеометров, позволяющих одновременно с высокой точностью строить и углы и расстояния. В этом способе положение искомой точки *C* на местности (рис. 3.3.) находится путём построения в точке *A* (полюс) полярного угла β от исходного на правления *AB* и полярного расстояния *S*.

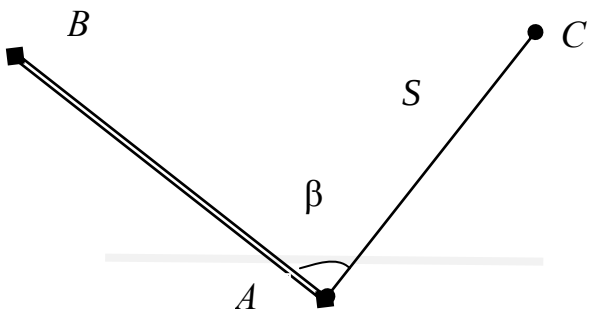


Рис. 3.3. Схема способа полярных координат

Средняя квадратическая ошибка m_c разбивки точки способом полярных координат определится по формуле

$$m_c^2 = m_u^2 + m_s^2 + \left(\frac{m_\beta}{\rho}\right)^2 S^2 + m_{цр}^2 + m_ф^2 \qquad (3.6)$$

где m_u средняя квадратическая ошибка планового положения исходных пунктов;

m_s- ошибка построения расстояния *S;*

m_β- ошибка построения полярного угла *β;*

$m_{цр}$- ошибка совместного влияния центрирования прибора и редукции визирной цели;

Зная ошибки планового положения исходных пунктов и принимая их равными m_1 и m_2 можно подсчитать результирующее их влияние на положение разбиваемой точки по формуле

$$m_и^2 = m_{1,2}^2\left[1 + \left(\frac{S}{b}\right)^2 - \frac{S}{b}\cos\beta\right]. \qquad (3.7)$$

Ошибку совместного влияния центрирования прибора и редукции визир-

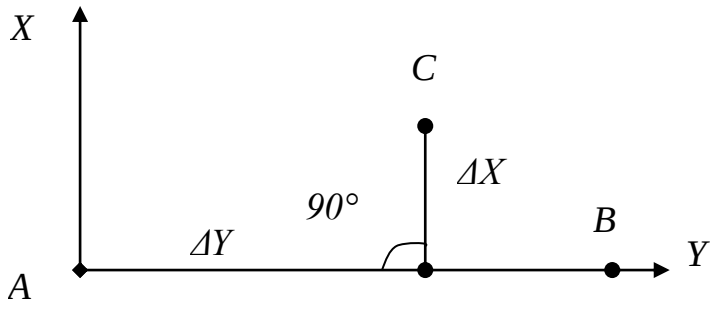
ной цели можно подсчитать по формуле

$$m_{ц.р}^2 = e^2 \left[1 + \left(\frac{S}{b}\right)^2 - \frac{S}{b}\cos\beta\right]. \qquad (3.8)$$

В этой формуле e – величина линейного элемента центрирования или редукции.

Из анализа двух последних формул следует, что полярный угол β должен быть меньше 90°, а полярное расстояние S не должно быть больше базиса разбивки b.

Способ прямоугольных координат. Способ применяется в основном при наличии на площадке геодезической строительной сетки. Используя вычисленные от ближайших пунктов приращения координат Δx и Δy (рис. 3.4), откладывают большее приращение по соответствующей стороне сетки, а в найденной точке устанавливают теодолит и, построив прямой угол, откладывают второе линейное приращение.



3.4. Способ прямоугольных координат

Полученную точку закрепляют и выполняют контрольные промеры, используя другие пункты и другую схему измерений.

Таким образом, элементами разбивки являются две линейные величины Δx и Δy и одна угловая β.

Средняя квадратическая ошибка в положении разбиваемой точки способом прямоугольных координат может быть подсчитана по формуле

$$m_C^2 = m_u^2 + m_{\Delta x}^2 + m_{\Delta y}^2 + \left(\frac{m_\beta}{\rho}\right)^2 \Delta x^2 + m_{цр}^2 + m_ф^2 \qquad (3.9)$$

где $m_{\Delta x}$ и $m_{\Delta y}$ - ошибки построения линейных величин Δx и Δy, β - ошибка построения прямого угла. Если по перпендикуляру откладывается ордината, то в формуле (3.9) вместо Δx берётся Δy.

Ошибки исходных пунктов определяют по формуле

$$m_u^2 = m_{1,2}^2\left[1+\left(\frac{\Delta x}{b}\right)^2+\left(\frac{\Delta y}{b}\right)^2-\frac{\Delta y}{b}\right]. \qquad (3.10)$$

Ошибки центрирования и редукции вычисляются по аналогичной формуле, но вместо ошибок $m_{1,2}^2$ следует вставить величину линейного элемента центрирования или редукции *e*. *В* формуле (3.10) b - длина стороны *AB*.

Способ прямой угловой засечки. Способ применяется для разбивки точек, находящихся на значительном удалении от исходных пунктов и расстояния до которых по каким то причинам измерить нет возможности. В этом способе положение определяемой точки *C* на местности находят построением на исходных пунктах *A* и *B* (рис. 3.5) проектных углов β_1 и β_2.

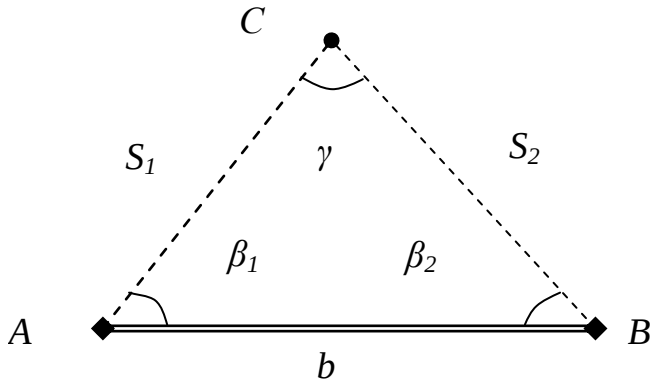


Рис. 3.5. Схема способа прямой угловой засечки.

Средняя квадратическая ошибка планового положения точки, построенной способом прямой угловой засечки, может быть подсчитана по формуле

$$m_C^2 = m_{зас}^2 + m_u^2 + m_{цр}^2 + m_ф^2, \qquad (3.11)$$

где ошибка собственно засечки $m_{зас}$ определяется из выражения

$$m_{зас}^2 = \left(\frac{m_\beta}{\rho}\right)^2 b^2 \frac{\sin^2\beta_1 + \sin^2\beta_2}{\sin^4\gamma}. \qquad (3.12)$$

Влияние ошибок исходных пунктов можно найти по формуле

$$m_u^2 = m_{1,2}{}^2 \frac{\sin^2\beta_1 + \sin^2\beta_2}{\sin^2\gamma}, \qquad (3.13)$$

а ошибки за центрирование и редукцию находят из выражения

$$m_{цр}^2 = e^2 \frac{\sin^2\beta_1 + \sin^2\beta_2}{\sin^2\gamma}. \qquad (3.14)$$

Контролируют разбивку, произведя построения с третьего исходного

пункта.

Для повышения точности разбивки, построенные углы многократно измеряют, вычисляют реальные координаты вынесенной точки и, сравнив их с проектными, находят редукции. Положение построенной точки исправляют, редуцируют.

Кроме описанных выше, есть ещё ряд способов выноса в натуру проектных точек. Рассмотрим некоторые способы разбивок, которые наиболее часто применяются, но преимущественно в особых случаях, в основном при производстве так называемых детальных разбивочных работ. Детальные разбивочные работы, в своей массе, производятся при строительстве зданий и сооружений на монтажных горизонтах, когда на бетонном перекрытии выносятся в натуру положения осей, элементов и конструкций зданий.

Способ створной засечки. В этом способе искомая точка К находится на пересечении двух створов *АВ* и *СД*, рис. 3.6. Створы проще всего задавать теодолитами. Точность створной засечки зависит от ошибок построения створов *АВ* и *СД* и от ошибок фиксации точки *К*.

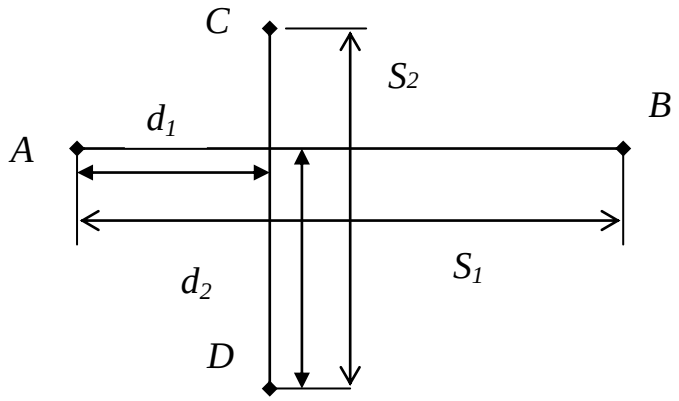


Рис. 3.6. Схема разбивки створной засечкой

В свою очередь, основными ошибками при построении створов являются ошибки планового положения исходных пунктов $m_и$, ошибки центрирования прибора и визирных целей $m_{ц,р}$,ошибка визирования $m_{виз}$, а также ошибка за влияние внешних условий $m_{вн}$.

$$m_K^2 = m_и^2 + m_{ц,р}^2 + m_{виз}^2 + m_{вн}^2 \qquad (3.15)$$

Влияние ошибок исходных данных следует рассматривать только в направлении, перпендикулярном створу, иначе говоря, для каждого створа это будет одна координата, для которой ошибка вычисляется по формуле

$$m_u^2 = m_{x,y}^2 \left[\left(1 - \frac{d}{S}\right)^2 + \left(\frac{d}{S}\right)^2 \right], \qquad (3.16)$$

где *d*– расстояние от точки установки прибора до определяемой;

S- расстояние между исходными точками (длина створа).

Совместное влияние погрешностей центрирования теодолита и визирной цели определяется формулой:

$$m_{ц,р}^2 = \frac{e^2}{2} \left[\left(1 - \frac{d}{S}\right)^2 + \left(\frac{d}{S}\right)^2 \right]. \qquad (3.17)$$

Погрешность визирования в угловой мере подсчитывают по формуле:

$$m''_{виз} = \frac{20''}{\Gamma^x}, \qquad (3.18)$$

где Γ^x - увеличение зрительной трубы теодолита.

При построении створа приходится визировать дважды: вначале на визирную цель, установленную на исходной точке, затем на цель, фиксирующую положение разбиваемой точки в створе. В обоих случаях линейная величина погрешности визирования для определяемой точки будет пропорциональна расстоянию *d* от теодолита до этой точки. Следовательно, для створных построений погрешность визирования будет равна:

$$m_{виз} = \frac{m''_{виз} \cdot d\sqrt{2}}{\rho''}, \qquad (3.19)$$

или с у чётом формулы (3.18) получим

$$m_{виз} = \frac{20'' \cdot d\sqrt{2}}{\Gamma^x \cdot \rho''}. \qquad (3.20)$$

Из внешних условий существенное влияние на точность построения створов может оказать боковая рефракция. Этот фактор необходимо учитывать при любых способах разбивки, связанных с оптическим визированием.

Способ створно-линейной засечки. В этом способе выносимая точка *C* (рис. 3.7) находится путём отложения проектного расстояния d по створу *AB*.

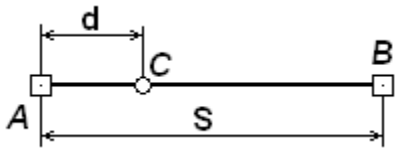


Рис. 3.7. Схема разбивки створно-линейным способом

Средняя квадратическая ошибка положения точки С в этом способе может быть подсчитана по выше приведенным формула для створной засечки с добавлением в формулу (3.16) ошибки m_d, т.е. ошибки построения отрезка d.

Способ линейной засечки. В этом способе положение выносимой точки *С* находят построением проектных отрезков S_1 и S_2 (рис. 3.8), отложенных от исходных пунктов А и В.

Средняя квадратическая погрешность в положении определяемой точки при одинаковой точности m_S отложения расстояний S_1 и S_2 может быть подсчитана по формуле:

$$m_{Лин.} = \frac{m_S\sqrt{2}}{\sin\gamma}. \qquad (3.21)$$

Минимальная погрешность собственно линейной засечки будет при угле γ=90°. В этом случае

Влияние погрешностей исходных данных может быть учтено по формуле

$$m_u = \frac{m_{x,y}}{\sin\gamma}. \qquad (3.22)$$

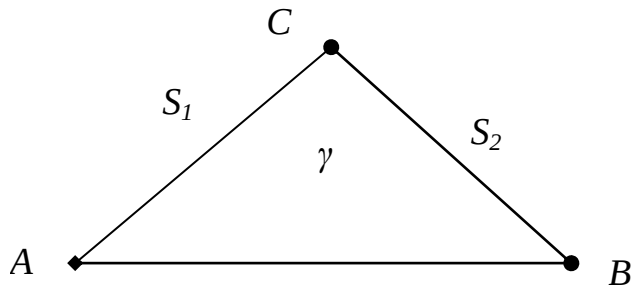


Рис. 3.8. Схема разбивки способом линейной засечки

Линейными засечками удобно производить разбивки на очищенной от мусора поверхности как, например перекрытии зданий, если разбивочные элементы не превышают длины мерного прибора. При этом, естественно отсутствуют ошибки центрирования и редукции.

Обратная засечка. Обратной засечкой вынести точку в натуру нельзя. Однако при помощи обратной засечки можно определить координаты точки стояния прибора - теодолита или электронного тахеометра. Для целей разбивки посредством обратной засечки находят на местности приближённо положение разбиваемой точки. Прибор устанавливают в этой точке и определяют её координаты по координатам нескольких пунктов, расположенных вблизи района ра-

бот. Вычисленные координаты точки стояния прибора сравнивают с координатами выносимой точки и находят их разность. По разностям координат вычисляют элементы так называемой редукции и, отложив их на местности, находят положение проектной точки.

Обратная засечка или классическая задача о четвёртой точке иначе называется задачей Потенота. В этой задаче исходными являются три и более пункта с известными координатами. Теодолит устанавливают в произвольной (четвёртой) точке и измеряют горизонтальные углы, на исходные пункты. По известным формулам вычисляют координаты точки стояния теодолита. Это обратная угловая засечка.

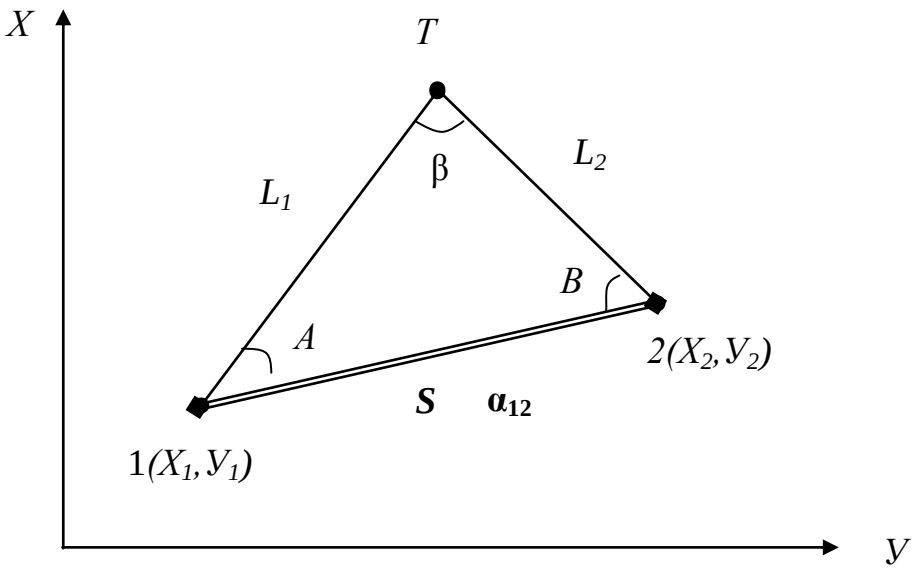


Рис. 3.9. Обратная линейно-угловая засечка

С внедрением в практику инженерно-геодезических работ электронных тахеометров появилась возможность легко и с высокой точностью измерять не только углы, но и расстояния, а встроенный компьютер позволяет быстро решать по результатам измерений разнообразные геодезические задачи, в том числе и обратную засечку. Если разбивочные или другие работы выполняются с произвольной точки стояния прибора, координаты которой определены из обратной засечки, то эту станцию иногда называют «свободной станцией».

Поскольку электронным тахеометром измеряются также и расстояния, то для решения задачи достаточно иметь два исходных пункта. В этом случае засечка будет называться линейно-угловой. Схема засечки приведена на рис. 3.9,

где T – точка стояния электронного тахеометра, точки *1* и *2* исходные пункты с известными координатами $X_1, У_1$ и $X_2, У_2$. Прибором измерены расстояния до исходных пунктов L_1 и L_2, а также угол β. По известным координатам исходных пунктов можно найти расстояние S между ними и дирекционный угол α_{12}, из решения обратной геодезической задачи. Координаты точки T могут быть вычислены дважды: по расстоянию L_1 и по расстоянию L_2. Для этих целей в соответствии с теоремой синусов запишем

$$\frac{S}{\sin\beta} = \frac{L_1}{\sin B} = \frac{L_2}{\sin A}. \tag{3.23}$$

Эти равенства позволяют найти углы A и B:

$$A = \arcsin\left(\frac{L_2}{S} \cdot \sin\beta\right) \tag{3.24}$$

Так же находится угол B, но по стороне L_1. Через найденные углы вычисляются дирекционные углы сторон L_1 и L_2. Для стороны L_1 будем иметь

$$\alpha_1 = \alpha_{12} - \arcsin\left(\frac{L_2}{S} \cdot \sin\beta\right) \tag{3.25}$$

Координаты точки стояния, т.е. точки T находятся обычным путём:

$$\left.\begin{aligned} X_T &= X_1 + L_1 \cos\alpha_1 \\ Y_T &= Y_1 + L_1 \sin\alpha_1 \end{aligned}\right\} \tag{3.26}$$

Считая координаты исходных пунктов безошибочными, продифференцируем формулу (3.26) по переменным L_1 и α_1 и перейдём к средним квадратическим ошибкам, опуская индексы у переменных:

$$\left.\begin{aligned} m_x^2 &= m_L^2 \cos^2\alpha + L^2 \sin^2\alpha \cdot \frac{m_\alpha^2}{\rho^2} \\ m_y^2 &= m_L^2 \sin^2\alpha + L^2 \cos^2\alpha \cdot \frac{m_\alpha^2}{\rho^2} \end{aligned}\right\}. \tag{3.27}$$

С некоторым приближением ошибка планового положения точки T может быть описана величиной $M^2 = m_x^2 + m_y^2$, которая представляет собой среднюю величину скаляра вектора смещения точки на плоскости. Выполнив сложение двух равенств формулы (3.27), получим

$$M^2 = m_L^2 + L^2 \cdot \frac{m_\alpha^2}{\rho^2}. \tag{3.28}$$

Тот же результат будет получен, если вычисления производить по углу B и расстоянию L_2. Однако эти результаты будут зависимыми, так как в обеих вы-

числениях участвует угол β. Среднее значение из двух M примерно будет в $\sqrt{2}$ раз меньше. Если координаты точки T получены из измерений по трём исходным точкам, то и результат соответственно будет точнее примерно в $\sqrt{3}$.

Нетрудно видеть, что первый член выражения (3.28) отражает влияние ошибок измерения расстояний L_1 или L_2, а второй член в неявном виде содержит ошибку измерения угла β и расстояний L, так как дирекционный угол стороны определяется через эти величины, см. формулу (3.25). Для приближённой оценки точности эту формулу можно упростить, предположив, что расстояния L (от прибора до исходных пунктов) в пределах строительной площадки примерно равны расстоянию между исходными пунктами S. В этом случае

$$\alpha_1 \approx \alpha_{12} - \arcsin(\sin\beta) = \alpha_{12} - \beta. \qquad (3.29)$$

Следовательно $m_\alpha \approx m_\beta$. Подставив полученное значение m_α в (3.28) с учётом количества исходных пунктов (n), участвующих в вычислениях координат точки T, получим

$$M^2 = \frac{1}{n}\left(m_L^2 + L^2 \frac{m_\beta^2}{\rho^2} \right), \qquad (3.31)$$

что вполне объяснимо: средняя квадратическая ошибка планового положения «свободной станции» прямо пропорциональна ошибкам измерения расстояний до исходных пунктов, величинам этих расстояний, ошибкам измерения углов между направлениями на исходные пункты и обратно пропорциональна корню квадратному из количества исходных пунктов. В качестве замечания следует отметить, что сказанное справедливо в случаях, если расстояния до исходных пунктов L меньше или равно расстояниям между исходными пунктами S. В противном случае ошибки планового положения «свободной станции» будут расти прямо пропорционально соотношению между отмеченными отрезками.

4. УКАЗАНИЯ ПО РАБОТЕ НАД ТЕМАМИ

Приведённый материал является некоторым поверхностным введением к обозначенным разделам прикладной геодезии. Для более глубокого изучения материала следует обратиться к приведённым литературным источникам и нормативным документам.

Вопросы инженерно-геодезических изысканий и методы построения плановых опорных геодезических сетей освещены в [3] и в учебниках [1, 2, 4, 5]. Для изучения вопросов спутниковых технологий следует обратиться к [3, 8]

Современную геодезическую технику следует изучать по [7] и частично по Интернету. Тема «Изыскания трасс линейных сооружений» рассматривается в [1 и 2], но также и в [4].

Третья тема рассматривается в [1,2 и 4], кроме того следует изучить нормы точности производства геодезических работ по ГОСТ 21779-82 и СП 126.13330. 2012. (СНиП 3.01.03-84). Геодезические работы в строительстве.

Студент сдаёт для зачёта 3 контрольные работы. Курсовой проект выполняется и оценивается отдельно.

Контрольные работы для зачёта оформляются отдельными тетрадями или на листах формата А4 брошюрами в ***рукописном исполнении***.

- Копирование лекционного и другого материала *запрещается*.
- Копирование и вставка формул и рисунков *запрещается*.
- Первая контрольная работа включает краткие ответы (одной, двумя фразами) на вопросы к темам, решение задач и собственно контрольную работу № 1. Заполняется Таблица «Приложение».
- Вторая контрольная работа сопровождается расчётами и к ней прилагается продольный профиль трассы на миллиметровке.
- Третья контрольная работа состоит из расчётов и к ней прилагается разбивочный чертёж

Содержания заданий по выполнению контрольных работ курса прикладной геодезии приведены далее.

4. ЗАДАНИЯ К КОНТРОЛЬНЫМ РАБОТАМ

ТЕМА 1. Геодезическая подготовка проекта. Разбивочные работы

Вопросы к теме

- Что такое генеральный план строительного объекта?
- Что является геодезической основой генерального плана?
- Что такое красные линии застройки?
- Что называют допуском или полем допуска по ГОСТ 21778-81?
- Как перейти от технологического допуска к средней квадратической ошибке при доверительной вероятности 0,95?
- Какие этапы разбивочных работ Вы знаете?
- Какие способы разбивочных работ Вы знаете?

4.1. Задача к теме «Графоаналитический метод подготовки проекта сооружения»

Прямоугольное сооружение имеет размеры 145,500х36,000 м. Координаты одного из углов (т. А) длинной стороны (АВ) сооружения определены графически с генплана объекта: Х = 1415,350 м; У = 5688,400 м. Найти координаты остальных углов сооружения, если дирекционный угол стороны АВ равен

$\alpha_{AB} = 154°15'30'' + n \cdot 10°$,

где n – номер варианта студента.

Составьте схему сооружения в произвольном масштабе.

4.2. Задача к теме «Нормы точности производства геодезических работ». Найти среднюю квадратичную ошибку разбивки осей в плане для класса точности 4 и осевого размера 6000 мм при доверительной вероятности 95%. (Использовать ГОСТ 21788-81 или Таблицу 3.1, Часть 1 «Курса лекций»).

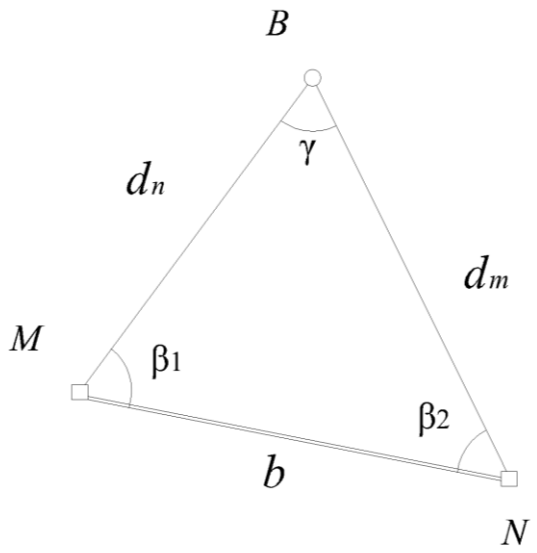
4.3. Задача к теме «Способы разбивочных работ».

- Вычислить разбивочные элементы (горизонтальные углы β_1 и β_2) для выноса на местность точки *B,* рис. 1, с пунктов *M* и *N* геодезического обоснования способом прямой угловой засечки.

- Подсчитать ожидаемую среднюю квадратичную ошибку разбивки, если ошибка построения углов равна 5″, ошибка фиксации точки 1 мм.

Ошибку центрирования приборов над вершинами *M* и *N* принять равной 2 мм. Ошибку исходных данных принять равной 10 мм.

Рис.4.1. Прямая угловая засечка



- Исходные данные: X_M = 5895,30 м

  $У_M$ = 2468,50 м.

  X_N = 5325,44 м

  $У_N$ = 5894,80 м

  X_B = 6877,34 м

  $У_B$ = 4996,94 м

Порядок решения задачи

- Из решения обратных геодезических задач найти дирекционные углы направлений *MB, MN* и *NB*.
- Разбивочные элементы (горизонтальные углы) находятся как разность дирекционных углов соответствующих направлений. Например,

$$\beta_1 = \alpha_{MN} - \alpha_{MB}$$

- Для контроля дважды вычислить угол γ: через сумму углов β и по теореме синусов через стороны треугольника.
- Для оценки ожидаемой точности разбивки использовать формулы (3.12) - (3.15) Курса лекций, Часть 1.
- Вычислить разбивочные элементы для выноса точки *B* с пункта *N* способом полярных координат (найти d_m и β_2).

- Оценить ожидаемую ошибку разбивки точки полярным способом при тех же данных и ошибки построения полярного расстояния 5 мм.

ТЕМА 2. Разбивочные инженерно геодезические сети

Вопросы к теме

- Для чего предназначена Государственная геодезическая сеть (ГГС) РФ?
- Какова структура ГГС РФ по точности определения положения пунктов?
- Сколько постоянно действующих пунктов ФАГС открытого пользования?
- На каком расстоянии друг от друга должны находиться пункты ВГС?
- Что такое СГС-1 и с какой ошибкой определяются плановые координаты этой сети? А геодезические высоты?
- Что собой представляет АГС 1 и 2 классов?
- Что такое сети сгущения? Съёмочные сети? Разбивочные сети?
- Что такое триангуляция? А полигонометрия? А трилатерация?
- Как вычисляются стороны в треугольниках триангуляции?
- Каковы характеристики триангуляционных построений?
- Как вычисляются стороны в треугольниках трилатерации?
- Каковы характеристики полигонометрии?
- Как влияют ошибки угловых и линейных измерений на положение точки?
- Каковы характеристики региональной (городской) спутниковой сети?
- Какие требования к высотным сетям РФ?
- Приведите технические характеристики высотных сетей.
- Что такое ПЗС – матрица?
- Как оцениваются проекты высотных сетей?
- Дайте определения разбивочным сетям стройплощадки, внешней сети отдельного здания и внутренней разбивочной сети здания.
- Что такое пространственная сеть из марок катафотов?

Контрольная работа № 1.

«Проект разбивочной сети строительной площадки»

Проекты разбивочных сетей разрабатываются на топографических картах (планах) на которых отображена строительная площадка (группа сооружений) в масштабе 1:1000 или 1:5000 или др. – это «Генплан объекта». Проект сети включает в себя графическую часть, текстовую и расчётную части. Целью проектирования является обеспечение строительной площадки опорной планово-высотной геодезической сетью пунктов.

Разбивочная сеть представляет собой систему из трёх полигонометрических ходов, проложенных по магистральным трассам города и образующих узловую точку *M*, рис. 4.2.

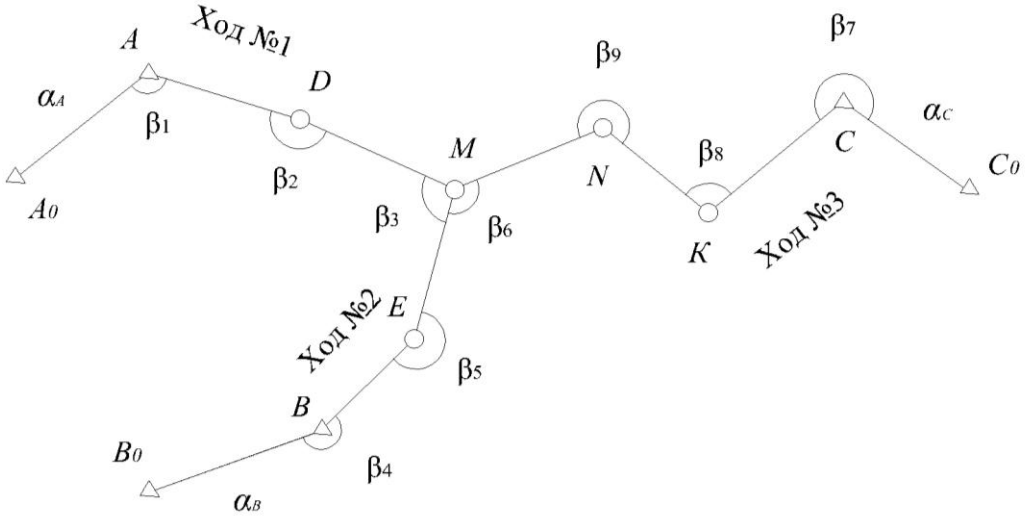


Рис. 4.2. Разбивочная сеть строительной площадки

Каждый из полигонометрических ходов опирается на исходные пункты с известными координатами, полученными из спутниковых наблюдений:

- Пункт *A:* X_A = 70989,36 м. $У_A$ = 7311,96 м.
- Пункт *B:* X_B = 70732,02 м. $У_B$ = 8074,97 м.
- Пункт *C:* X_C = 71244,28 м. $У_C$ = 8476,17 м.

Дирекционные углы исходных направлений получены из решения обратных геодезических задач между соответствующими спутниковыми пунктами:

- Направление A_0A или α_A = 103º41′48″;
- Направление B_0B или α_B = 285º07′42″;

- Направление C_0C или α_C = 270º36′36″;

По результатам полевых измерений получены горизонтальные углы и длины сторон полигонометрических ходов, ***Таблица 4.1***.

Таблица 4.1.

Пункты	Длины сторон, м	Значения углов	Углы
A		221º40′46″	β_1
	216,32		
D		125 17 58	β_2
	186,27		
M		207 32 14	β_3
B		172 16 12	β_4
	247,11		
E		157 43 48	β_5
	252,50		
M		45 56 30	β_6
	318,84		
N		146 12 48	β_9
	283,92		
K		198 48 01	β_8
	263,92		
C		196 24 30	β_7

Расчётная часть представляет собой уравнительные вычисления, имеющие целью получение вероятнейших координат пунктов сети. Задача уравнивания ходов заключается в увязке горизонтальных углов, приращений координат, а также в вычислении координат точек ходов.

Путём вычислений по каждому из отдельных ходов находят дирекционные углы какой либо стороны при узловой точке, скажем стороны *MN* и вероятнейшее значение её дирекционного угла вычисляют как среднее весовое. Затем горизонтальные углы по отдельным ходам увязывают как между твёрдыми дирекционными углами. После увязки горизонтальных углов вычисляют дирекционные углы, приращения координат и координаты узловой точки по ходам от твёрдых точек *A, B, C*. По трём координатам точки *M* находят их вероятнейшее значение как среднее весовое. Принимают вероятнейшие координаты точки *M*

как твёрдые и уравнивают приращения координат по каждому ходу, рассматривая их как разомкнутые ходы, опирающиеся на твёрдые пункты.

В качестве примера в ***Таблице ПРИЛОЖЕНИЕ*** приведен порядок вычислений только для хода №1.

- В графы 1, 2 записывают названия точек и измеренные горизонтальные углы β, правые по ходу от опорных пунктов к узловой точке *M*. По каждому ходу подсчитывают сумму углов.
- При узловой точке берут узловую линию *MN*, для которой вычисляют дирекционные углы по каждому ходу от исходных дирекционных углов $\alpha_A, \alpha_B, \alpha_C$. Для узловой линии *MN* по каждому из ходов *AM, BM, CM* получают значения дирекционных углов:

$$\alpha_{MN_1} = \alpha_A + n_1 \cdot 180° - \sum \beta_1 = 89°10'50''$$

$$\alpha_{MN_2} = \alpha_B + n_2 \cdot 180° - \sum \beta_2 = 89°11'12''$$

$$\alpha_{MN_3} = \alpha_C + n_3 \cdot 180° - \sum \beta_3 = 89°11'17''$$

Здесь *n* – число углов хода. Приняв в качестве веса, величину, обратную *n*, вычисляют веса по каждому ходу: $p_i = \frac{1}{n_i}$ и рассчитывают вероятнейшее значение дирекционного угла стороны *MN* как по неравноточным результатам:

$$\alpha_{MN} = \frac{\alpha_{MN_1} p_1 + \alpha_{MN_2} p_2 + \alpha_{MN_3} p_3}{p_1 + p_2 + p_3} = 89°11'06''$$

Полученное значение дирекционного угла принимают за твёрдое и вычисляют угловые невязки для каждого хода. Так для хода *AM* будем иметь:

$$f_{AM} = \alpha_{MN_1} - \alpha_{MN} = 89°10'50'' - 89°11'06'' = -16''.$$

- Полученные невязки углов распределяют поровну на каждый измеренный правый угол хода с тем же знаком невязки. В графу 3 ***Таблицы*** *ПРИЛОЖЕНИЕ* вписывают исправленные углы.
- По исправленным горизонтальным углам и исходным дирекционным углам вычисляют дирекционные углы сторон хода и результаты вписывают в графу 4, а румбы – в графу 5.
- На основе длин линий (графа 6) и румбов вычисляют приращения координат и для каждого хода подсчитывают суммы приращений.

- По исходным координатам точек *A, B, C* и суммам приращений ходов вычисляют координаты узловой точки *M*. По первому ходу получим:

$$x_{M_1} = x_A + \sum \Delta x_{AM} = 70989,36 + 17,74 = 71007,10.$$

$$y_{M_1} = y_A + \sum \Delta y_{AM} = 7311,95 + 357,41 = 7669,36.$$

- Вычислив координаты точки *M* по каждому ходу, находят среднее весовое. За вес хода принимают величину, обратную длине хода, т. е.

$$p_i = \frac{k}{L_i}.$$

Для удобств вычислений коэффициент k здесь можно принять равным 2000. Так, для первого хода получим $p_1 = \frac{2000}{402} \approx 5$.

- Найдя веса для каждого хода, вычисляют среднее весовое значение координат узловой точки *M*.

$$x_M = 71006 + \frac{1,10p_1 + 0,95p_2 + 0,70p_3}{p_1 + p_2 + p_3} = 71006,90$$

$$y_M = 7669 + \frac{0,36p_1 + 0,12p_2 + 0,85p_3}{p_1 + p_2 + p_3} = 7669,32$$

- Принимая полученные вероятнейшие координаты точки *M* за твёрдые, вычисляют невязки в приращениях координат по каждому ходу. Так, для первого хода получим невязки $f_{x_1} = 71007,10 - 71006,90 = +0,20$;

$f_{y_1} = 7669,36 - 7669,32 = +0,040$

- Полученные невязки ходов с обратным знаком распределяют на приращения пропорционально длинам линий. Исправленные приращения координат записывают в графы 9 и 10. Далее вычисляют координаты всех точек. На этом заканчивается вычисления полигонометрических ходов с одной узловой точкой. Текстовая часть работы представляет собой описание участка работ и пояснения к обработке материалов.

Контрольная работа № 2

КАМЕРАЛЬНОЕ ТРАССИРОВАНИЕ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ IV КАТЕГОРИИ

Исходные данные:

1. Топографическая карта масштаба 1:10000 или 1:25000 (прилагается)
2. Опорные пункты на карте: «Начало трассы» и «Конец трассы».
3. Предельно допустимый уклон дороги указан на карте.
4. Наименьший радиус кривых в плане – 300 м; в профиле – 5000 м для выпуклых и 2000 м для вогнутых кривых.
5. Ширина земляного полотна 10 м, проезжей части 6 м.
6. Образец начертания продольного профиля

Состав задания:

Камеральное трассирование автодороги по карте.

- Построение оси трассы линиями, соответствующими заданному уклону.
- Спрямление линии и выбор местоположения углов поворота.
- Определение величин углов поворота, подбор радиусов горизонтальных кривых и расчёт элементов круговых кривых.
- Разбивка пикетажа на плане трассы, вынос пикетов на кривые.

Проектирование трассы автодороги

- Составление ведомости отметок земли по оси трассы.
- Составление продольного профиля в масштабах: горизонтальный - 1:10000; вертикальный - 1:1000.
- Проектирование продольного профиля автодороги.
- Расчёт элементов вертикальных кривых.
- Проектирование водоотвода и кюветов.

Указания по выполнению контрольной работы.

Выполнению технической части проекта трассы должно предшествовать описание физико-географических условий района предполагаемого строительства (район проживания студента), определение степени освоенности территории, её топографо-геодезической изученности и сложности проектно-изыскательских работ (определяется по топокарте).

Пояснительная записка, включающая в себя описание, необходимые расчёты и табличные материалы, составляется на листах формата А4. Камеральное трассирование, составление плана трассы и разбивка пикетажа выполняются непосредственно на топокарте. Составление продольного профиля и проектирование земляного полотна и кюветов производятся на миллиметровой бумаге. Чертёж профиля, профильная сетка, исходные данные вычерчиваются чёрным цветом, все проектные данные выделяются красным (гелиевая ручка). Вдоль линии трассы на профиле следует указать все пересечения и параметры существующих и проектных инженерных сооружений.

Камеральное трассирование по карте. Найдя начальный и конечный пункты трассы, (обозначенные на карте) просматривают местность вдоль предполагаемого направления дороги и намечают ось трассы, стремясь при этом выбрать наиболее пологие участки рельефа, минуя населенные пункты, заболоченные места, лесные массивы и другие препятствия.

Пересечения трассы с реками и существующими дорожными магистралями стремятся. Выбрав общее направление трассы, вычисляют по формуле (2.5) «Методических указаний» [2] заложение между горизонталями для заданного уклона трассирования. Далее намечают линию нулевых работ, используя прием, изложенный в «Методических указаний».

Линия нулевых работ обычно получается очень извилистой, поэтому производят ее спрямление. Спрямленная трасса на карте вычерчивается тушью.

Участки спрямленной трассы должны располагаться по возможности ближе к линии нулевых работ, что обеспечит минимальные объёмы насыпей и выемок. Углы поворота трассы, получившиеся после спрямления, желательно иметь не превышающими 30°-45°, примыкание к существующим дорогам может быть выполнено под произвольным углом, но к прямому участку дороги. После спрямления трассы измеряют углы поворота, назначают радиусы кривых

и разбивают пикетаж. Углы поворота измеряются транспортиром с округлением до 0,5 - 1°. По углу θ, и радиусу кривой R находят главные элементы кривой: тангенс, биссектрису, кривую и домер (Т, Б, К, Д). От вершин, отложив в масштабе карты значения тангенсов, разбивают кривую.

К минимальным значениям радиуса придется обращаться, когда две соседних ВУ будут расположены близко друг от друга (при трассировании этого следует избегать) и размещение кривых оказывается затруднительным, т. к. кривые накладываются одна на другую. Между концом одной круговой кривой и началом другой должна оставаться прямая вставка не менее 100м.

По измеренным значениям углов поворота трассы и радиусам кривых из таблиц кривых выбирается главные элементы круговых кривых / Т, К, Б, Д/ и заносятся в «Пояснительную записку».

На углах поворота откладывают на карте тангенсы и биссектрису и вписывают кривые.

Разбивку пикетажа начинают от точки «Начало трассы» (ПК 0), причем на картах масштаба 1:25000 для уменьшения загрузки чертежа отмечают только четные пикеты (0, 2, 4, 6 и т.д.), последовательно откладывая измерителем отрезки по 200 м (8 мм).

Разбивка пикетажа на кривых ведется по тангенсам с учетом домера, как об этом сказано на страницах «Методических указаний», стр. 40.

Расчет пикетажа на кривых должен быть сделан в «Пояснительной записке» с контрольным подсчетом пикетажа конца кривой КК (расчеты ведутся с точностью до 1 см).

Для отмеченных пикетов и характерных плюсовых точек следует определить отметки земли по горизонталям (с точностью до 0,5 м) и занести их в соответствующую ведомость, а затем в соответствующую графу продольного профиля.

Составление продольного профиля трассы. На основе намеченного на карте пикетажа и полученных по горизонталям отметок точек составляют продольный профиль в масштабах: горизонтальный 1:10000 и вертикальный - 1:1000. Размеры граф профиля указаны в ***Таблице 4.2***. Образец профиля прилагается

Размеры граф профиля ***Таблица 4.2.***

Развёрнутый план трассы			2 см
Проектные данные	Кюветы	Уклоны ‰. Расстояния (м)	1 см
		Отметки /до см/	1.5 см
	Земляное полотно (бровка)	Уклоны ‰./ Расстояния (м)	1 см
		Отметки (до см)	1.5 см
Отметки земли			1.5 см
Расстояния			1 см
Пикеты			1 см
Прямые и кривые в плане			2 см
Километры			1 см

Профиль составляется в двух цветах гелиевой ручкой. Все проектные данные, а также “План пути” показываются красным цветом, а остальные данные - черным. Начало масштаба высот должно быть выбрано так, чтобы самая низшая точка черного профиля не доходила до графы “Ситуация” на 2-3 см.

При заполнении графы “План трассы” должны быть показаны длины и истинные румбы прямых участков; на кривых нужно показать основные элементы кривых θ, *R*, *T*, *K*; кривая показывается вниз, если трасса поворачивает влево и наоборот, вверх, когда трасса идет вправо.

Образец штампа ***Таблица 4.3.***

ФДОТ	ШИФР	МИИГАиК
Изыскание и проектирование линии ж.д.		
Контрольная работа №1		
РУКОВОДИТЕЛЬ		
Исполнитель:		
ATA	МАСШТАБЫ: горизонтальный 1:10000 вертикальный 1:500	

В графе ”Ситуация” контурная часть плана показывается в полосе шириною 200 м, т.е. на 100 м с каждой стороны от трассы, которая проводится

красным цветом посередине графы, данные берутся с карты. Углы поворота отмечают стрелкой. В правом нижнем свободном углу листа миллиметровой бумаги нужно поместить “штамп”, ***Таблица 4.3***.

Проектирование красной линии, водоотвода и вертикальных кривых. При проектировании земляного полотна, кроме выполнения требований, приведенных выше, необходимо придерживаться следующих правил:

1. Проектные уклоны рекомендуется задавать с точностью до 0,001.

Этим упрощаются расчеты проектных отметок и, тем самым уменьшается возможность появления ошибок в них. Проектные отметки относятся к бровке земляного полотна.

2. Алгебраическая разность уклонов на двух соседних участках проектной линии не должна превышать заданного руководящего уклона. В случае, когда не удается выдержать требуемую разность уклонов, между сопрягаемыми участками проектируется горизонтальная площадка длиной не менее шага проектирования 200 м.

3. В связи с трудностью устройства водоотвода длиной более 200 м горизонтальные площадки в выемках делать не следует.

4. На участках, где дорога, идущая по насыпи, пересекает временные водотоки (тальвеги), должны быть запроектированы (показаны на профиле) трубы диаметром 0,5-1м, или больше.

5. Объемы насыпей и выемок должны быть минимальными и примерно ровными. При больших объемах насыпей и выемок в полной мере используют руководящий уклон.

При проектировании следует помнить, что, как правило, оно выполняется в несколько попыток и, естественно, будут неизбежны частичные или полные переделки уже, казалось бы, готовых участков дороги. Поэтому проектирование следует вести в карандаше. К окончательному оформлению тушью следует перейти только после полного завершения процесса проектирования, когда есть уверенность, что все поставленные требования и правила соблюдены.

Начинать проектирование нужно от мест с заданными отметками. Такими точками на трассе могут быть места примыкания к существующим магистралям, красная отметка таких точек может быть принята равной отметки земли. В местах проектирования мостов следует рассчитать высоту моста.

Далее, пользуясь построенной линией профиля местности, приближенно намечают первый участок проектной линии, стараясь приблизить ее к отметкам земли. По разности отметки земли в конце первого участка и начальной красной отметки и расстоянию между этими точками подсчитывают уклон. Если уклон получается допустимым, его округляют до 0,001 и записывают в соответствующую графу профиля с одновременным показом расстояния. Знаком уклон не сопровождается, его заменяет соответствующим образом расположенная диагональная линия в графе уклонов.

С принятым значением уклона и по расстоянию с начала до конца участка вычисляют превышение (до сантиметра) и, прибавив его с соответствующим знаком к красной отметке, находят отметку конца первого участка проектной линии.

Если предварительный подсчет обнаружит недопустимую величину уклона, то намеченную ранее точку в конце первого участка проектной линии понижают до тех пор, пока уклон не окажется допустимым. При этом только нужно убедиться (по плану дороги), что на данном участке нет кривых. При наличии кривой нельзя назначить руководящего уклона (например 20‰).

В ходе проектирования должен выдерживаться шаг проектирования, то есть минимальное допустимое расстояние между переломами проектной линии, чтобы обеспечить размещение вертикальных кривых. Для соблюдения заданного выше требования переломы проектной линии не должны быть чаще чем через 200 м. Однако назначить переломы проектной линии через каждые 200 м тоже нецелесообразно, так как получающийся при этом пилообразный профиль нежелателен для последующей эксплуатации дороги. Хорошо, если удастся запроектировать участки по 300-500 м, при этом только нужно избегать затяжных подъемов (спусков) на руководящих уклонах.

При пересечении оврагов и низких мест, где проектируются трубы, необходимо иметь в виду, что проектная линия в этих местах должна быть минимум на 1 м выше принятого отверстия трубы. Например, отметка земли у основания трубы 121,50, диаметр трубы 1м, красная отметка полотна будет 123,50 м.

На мостовых переходах рек красная отметка должна быть на 1-2 м выше уровня высоких вод реки (его можно взять на 5 м больше отметки отмеченного на карте уреза), при этом проектную линию, как правило, ведут горизонтально. Так методом последовательных проб проектируют всю трассу.

Проектирование кюветов. При проектировании кюветов следует придерживаться следующих правил:

1. В насыпях более 0,6 м кюветы не делают.

2. В наклонных выемках уклон кюветов назначается равным уклону запроектированного земляного полотна; отметки на кюветах при этом уменьшаются (против красных) на 0,6 м - нормальная глубина кюветов.

3. На горизонтальных площадках в выемках водоотвод делается с минимальным уклоном (3‰), как правило, от середины в обе стороны. Глубина кювета в середине площадки может быть принята меньше нормальной, то есть 0,2 - 0,3 м.

4. В насыпях менее 0,6 м и в нулевых отметках уклон кюветов проектируется равным уклону местности.

5. Проектирование кюветов начинают с возвышенных участков красной линии, последовательно вычисляя (по уклонам и расстояниям) отметки дна кюветов по спуску дороги. При этом необходимо контролировать, чтобы проектные отметки дна кюветов не получались больше черных отметок земли.

Результаты проектирования кюветов оформляется только в соответствующих графах профиля, где указываются уклоны, расстояния и отметки на пикетах. На самом профиле линия дна кюветов не показывается.

Проектирование вертикальных кривых. Вертикальные кривые на автомобильных дорогах устраиваются для плавного сопряжения двух соседних участков проектной (красной) линии.

При выполнении настоящей работы оформление разбивки вертикальных кривых сведется к показу над линиями профиля элементов вертикальных кривых *R*, *К*, *Т*, *Б*. Рядом с ранее вычисленной красной отметкой земляного полотна подписывается новая отметка, исправленная на величину биссектрисы (старая отметка берется в скобки), причем на выпуклом профиле биссектриса отнимается от красной отметки, на вогнутом - наоборот, прибавляется

Вертикальные кривые разбиваются только на тех перегибах красной линии, где величина биссектрисы оказывается более 5 см (предельная точность земляных работ).

Контрольная работа №3

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ДЛЯ ВЫНОСА НА МЕСТНОСТЬ ПРОЕКТА СООРУЖЕНИЯ

Исходные данные

1. План привязки осей сооружения – ***Рис. 4.5.***
2. Координаты пунктов разбивочной сети строительной площадки и координаты одного из углов сооружения (***Таблица 4.4***).
3. Дирекционный угол исходного направления оси 90 (т. 10 – т. 1).
4. Номера выносимых точек (указаны на плане осей сооружения)
5. Средняя квадратическая ошибка координат выносимой точки (там же).

Исходные данные

Таблица 4.4.

Варианты	Координаты						Дирек. угол оси 90
	пз 17		пз 18		Точка 1		
	X	Y	X	Y	X	Y	
0	**441,52**	**229,48**	**310,60**	**289,58**	**284,40**	**387,80**	**123°10′**
1	**441,10**	**229,90**	**310,18**	**290,00**	**280,20**	**392,00**	**123°15′**
2	**439,12**	**227,18**	**312,24**	**288,,90**	**280,10**	**392,10**	**123°20′**
3	**351,79**	**249,31**	**490,86**	**391,21**	**286,90**	**385,30**	**123°25′**
4	**441,88**	**229,12**	**310,96**	**289,22**	**288,00**	**384,20**	**123°30′**
5	**351,25**	**249,85**	**490,32**	**391,75**	**281,50**	**390,70**	**123°35′**
6	**441,25**	**229,75**	**310,33**	**289,85**	**281,70**	**390,50**	**123°40′**
7	**439,81**	**226,49**	**312,93**	**288,21**	**287,00**	**385,20**	**123°45′**
8	**351,61**	**249,49**	**490,68**	**391,39**	**285,10**	**387,10**	**123°50′**
9	**439,51**	**226,79**	**312,63**	**288,51**	**284,00**	**388,20**	**123°55′**

Примечание Координаты опорных пунктов строительной площадки, координаты пересечения осей X и 90 (точка 1), а также исходный дирекционный угол оси 90 выбирается из таблицы 4.4 по вариантам, соответствующим последней цифре шифра студента.

Состав и содержание работы

Произвести расчёты и подготовить исходные данные для выноса на местность проекта сооружения.

Геодезическая подготовка проекта сооружения

Выносу на местность проекта здания или сооружения предшествует специальная геодезическая подготовка, которая предусматривает его аналитический расчёт, геодезическую привязку, составление разбивочных чертежей, разработку проекта производства геодезических работ (ППГР).

Для выноса проекта сооружения необходимо на местности иметь ряд пунктов с известными координатами, которые должны быть приведены в той же системе координат, в которой рассчитаны координаты основных точек сооружения. Координаты пунктов геодезической основы получают по результатам измерений и вычислений, произведённых при её построении. Координаты же точек, принадлежащих сооружению, находят из графических измерений и аналитических вычислений, что обобщённо называется геодезической подготовкой проекта.

Генеральным планом (генпланом) называется проект размещения на плане или топографической карте крупного масштаба (1:500. 1:1000, 1:2000) зданий, сооружений и инженерных сетей, составляющих комплекс жилой застройки или стройплощадку промышленного предприятия. Генплан является важнейшим проектным документом, на основе которого разрабатывается проект планировки и застройки объектов строительства, инженерных коммуникаций, городского транспорта, очерёдности строительства и т.п.

На основе генплана составляются разбивочные чертежи для перенесения проектируемых объектов на местность; подготавливаются геодезические данные для проведения работ по вертикальной планировке и благоустройству территории. В зависимости от назначения различают генпланы сводные, поэлементные, строительные (*стройгенпланы*) и исполнительные.

Проект расположения комплекса или отдельных капитальных зданий и сооружений, а также временных сооружений, дорог, инженерных сетей и помещений, механизмов и вспомогательных цехов на период строительства называют *стройгенпланом*.

Геометрической основой проекта для перенесения его на местность служат *разбивочные оси*, относительно которых в рабочих чертежах показано расположение всех элементов и конструкций сооружения. Различают несколько видов разбивочных осей: главные, основные и промежуточные или монтажные. Главными осями являются оси симметрии зданий и сооружений, рис. 4.3.

Для линейных сооружений (дорог, плотин, каналов и пр.) главными осями служат продольные оси этих сооружений. Основными осями называются оси, определяющие форму и габариты зданий и сооружений. Промежуточные или детальные оси – это оси отдельных конструкций и элементов сооружения. Оси на чертежах изображают штриховыми линиями и обозначают буквами и цифрами, которые размещают в окружностях.

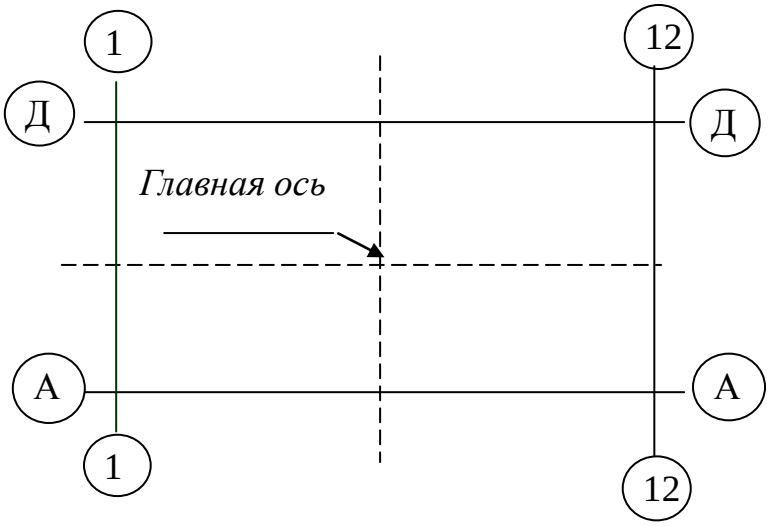


Рис. 4.3. Оси сооружений

Необходимые величины для перенесения проекта на местность определяют в процессе геодезической подготовки данных генплана и составления на его основе разбивочных чертежей.

Цифровые величины геодезической подготовки генплана – это координаты и отметки характерных точек зданий и сооружений, величины углов, линий и превышений, которые необходимо перенести и закрепить на местности от опорных точек разбивочной основы.

Подготовка генплана осуществляется графическим, аналитическим и графоаналитическим методами, и производится путём измерений на генплане и математических расчётов. При подготовке данных генплана крупного строительства все эти три метода применяются в совокупности и дополняют друг

друга.

Графический способ заключается в том, что координаты выносимых на местность точек определяются на генплане графически, при помощи циркуля-измерителя и масштабной линейки. Точность этих данных зависит от масштаба плана и деформации бумаги, на которой составлен план. Чем крупнее масштаб плана, тем выше точность получаемых с плана линейных величин. Например, при отсутствии существенной деформации бумаги ошибка m_D расстояния D на местности определяется по формуле

$$m_D = m_d \cdot M, \qquad (4.1)$$

где m_d - ошибка длины d отрезка линии, взятой графически с плана, которую можно принять равной графической точности масштаба, т.е. 0,2 мм с учётом деформаций бумаги;

M – знаменатель масштаба плана. Так для плана масштаба 1:500, измеренный отрезок на плане будет иметь ошибку в натуре m_D = 0,2 мм ·500 = 0,10 м.

Если учесть, что проектирование производится на копиях топографических планов, то реальная точность будет ещё ниже. Поэтому графический метод подготовки, будучи наименее точным, применяют крайне редко, лишь для разбивок, не требующих взаимной увязки разбиваемых точек.

Аналитический способ заключается в вычислении координат проектных точек, решением прямых геодезических задач. Для решения прямых геодезических задач необходимые данные (длины линий и дирекционные углы) находят или берут из геометрических связей между осями, элементами и конструкциями зданий и сооружений, используют аналитические связи между исходными пунктами и разбиваемыми. Дирекционные углы и длины линий могут быть найдены из решения обратных геодезических задач, а разбивочные углы как разность дирекционных углов направлений.

На рис. 4.4. показаны пункты геодезической основы T и N с известными координатами (X_T, Y_T) и (X_N, Y_N). Координаты характерных точек здания A, B, C, и т.д. находят по геометрическим связям между этими точками и их расположению по отношению к пунктам основы. Расстояние между любыми точками с координатами находится из решения обратной геодезической задачи. Тут же находят дирекционный угол направления.

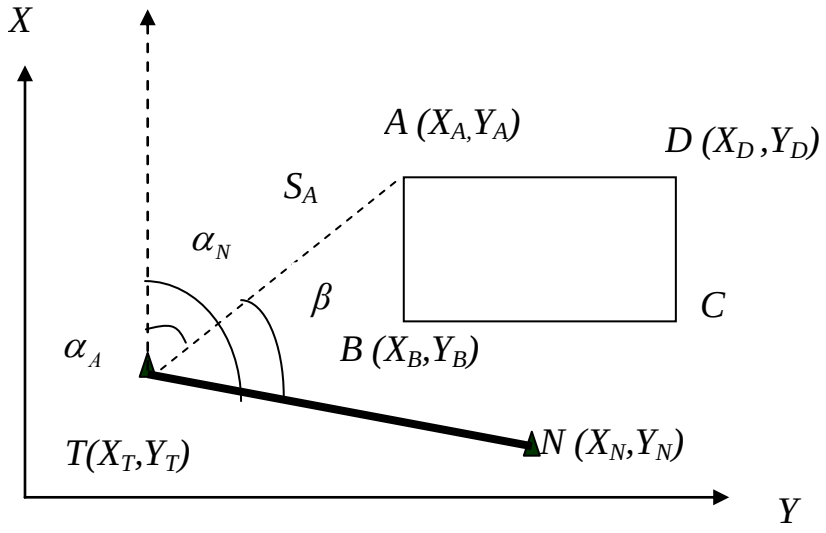


Рис. 4.4. Подготовка проекта сооружения

Так для стороны *TA* имеем

$$S_A = \sqrt{(X_A - X_T)^2 + (Y_A - Y_T)^2}; \qquad (4.2)$$

$$S_A = (X_A - X_T)/\cos\alpha_A = (Y_A - Y_T)/\sin\alpha_A; \qquad (4.3)$$

$$tgr_{TA} = \frac{Y_A - Y_T}{X_A - X_T}. \qquad (4.4)$$

Найдя $arctgr_{TA}$ и, руководствуясь знаками числителя и знаменателя формулы (4.4), находят четверть, в которой расположен румб r_{TA} и, наконец, вычисляют дирекционный угол α_{TA}.

Легко видеть, что по разности дирекционных углов, каких либо двух направлений, исходящих из одной точки, можно найти горизонтальный угол между ними. Например $\beta = \alpha_N - \alpha_A$, рис. 4.4.

Графоаналитический способ представляет собой сочетание аналитического и графического способов.

Результаты геодезической подготовки отображают на разбивочных чертежах. Разбивочный чертёж – графический документ, по которому на местности производят разбивочные работы. Чертёж выполняют в крупном масштабе (1:500 – 1:5000), но также и без масштаба. Главное, на разбивочном чертеже должны

быть отражены разбивочные элементы, подлежащие построению на местности. Во-первых, на чертеже схематически отображают исходные пункты и контуры зданий и сооружений, точки которых должны быть вынесены, их размеры и расположение осей, выписывают значения разбивочных элементов (горизонтальных углов и длин линий). Иногда на чертеже выписываются значения исходных данных, высот, координат и дирекционных углов, что позволяет выполнять контрольные измерения и вычисления в случае каких либо неувязок.

Указания по выполнению работы

Технология аналитической подготовки проекта рассматривается на примере проекта группы зданий (четыре здания рис. 4.5).

Расположение здания на местности определяется его основными осями и привязками этих осей к существующим в натуре знакам геодезической основы.

В качестве исходных пунктов геодезической основы в задании приводятся координаты полигонометрических знаков **пз** 17 и **пз** 18 (на рис. 4.5 не отображены).

Целью задания является расчёт разбивочных элементов для выноса и построения на местности нескольких точек сооружения известными способами (полярных координат, прямой угловой и линейной засечками).

Детальная схема расположения и привязки основных осей сооружения приводится на рис. 4.5.

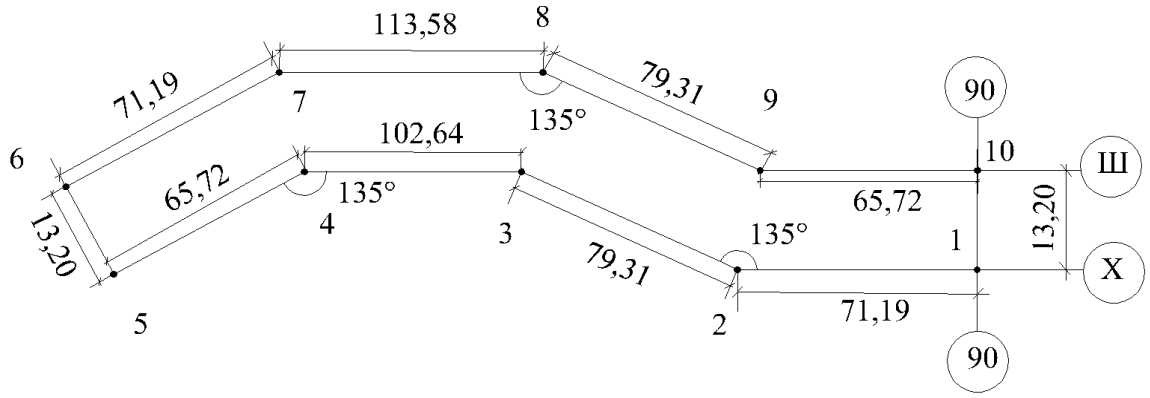


Рис. 4.5. Проект сооружения

Индивидуально каждому студенту выдаются координаты точки 1 и дирекционный угол оси 90. Кроме того, по вариантам выдаются координаты точек **пз** 17 и **пз** 18, являющиеся пунктами разбивочной сети, которые закреплены на местности Таблица 4.4.

На первом этапе следует вычислить проектные координаты характерных точек сооружения – это точки 1, 2...10. Координаты вычисляются последовательным решением прямой геодезической задачи между точками 1 – 2, 2 -3 и т.д. 10 – 1, которые образуют замкнутый теодолитный ход. Длины сторон хода, равно как и правые горизонтальные углы между сторонами берутся со схемы расположения и привязки основных осей сооружения рис. 4.5. Исходными данными также служат координаты точки 1 и дирекционный угол направления 10-1. Расчёты, связанные с вычислением координат характерных точек сооружения размещают в ведомости вычисления координат теодолитного хода. Поскольку в расчётах используются проектные данные (горизонтальные углы и горизонтальные проекции длин линий), то вычисленная сумма приращений координат замкнутого хода должна быть равна нулю в пределах ошибок округления, что является контролем вычислений.

На *втором этапе* следует вычислить разбивочные элементы для выноса на местность нескольких точек (4 точки), берутся студентом произвольно.

Если точка выносится способом линейной засечки, то разбивочными элементами являются два отрезка, образованные исходными пунктами **пз**17 и **пз** 18 и данной точкой.

Если точка строится способом прямой угловой засечки, то разбивочными элементами являются два горизонтальных угла на пунктах **пз**17 и **пз** 18, образованные базисом разбивки и направлением на выносимую точку.

Если точка выносится способом полярных координат, то в качестве полюса выбирается ближний к выносимой точке из полигонометрических знаков. Разбивочными элементами в способе являются полярный угол и полярное расстояние.

Разбивочные элементы в любом из способов разбивки рассчитываются из решения обратных геодезических задач по координатам пунктов геодезической основы и разбиваемой точки.

На *третьем этапе* следует рассчитать точность построения разбивочных элементов на местности по данной средней квадратической ошибке планового положения разбиваемой точки.

Если точка строится способом линейной засечки, то для решения задачи можно использовать формулу (3.21) «Методических указаний», где в качестве неизвестной величины выступает ошибка m_s. Зная остальные величины, уравнение решают относительно m_s и, подставив числовые значения находят искомую среднюю квадратическую ошибку построения линейных величин.

Если точка выносится способом прямой угловой засечки, то для указанных расчётов можно воспользоваться формулой (3.12), где неизвестной величиной будет являться средняя квадратическая ошибка построения горизонтального угла m_β. Уравнение (3.12) следует решить относительно m_β и, подставив известные значения горизонтальных углов и ошибки положения точки, найти значение m_β.

Естественно, для более точного решения задачи следует учесть другие, сопутствующие способу элементарные ошибки (ошибки центрирования, фиксации и др.). Однако на данном этапе можно ограничиться полученным результатом и считать задачу решённой.

Если точка строится способом полярных координат, то для расчётов следует воспользоваться формулой средней квадратической ошибки этого способа, а именно

$$m_{пол}^2 = m_s^2 + S^2 \frac{m_\beta^2}{\rho^2}, \qquad (4.5)$$

где в правой части расположены два неизвестных искомых члена m_s и m_β.

Для решения задачи можно поставить условие, а именно: влияние ошибок построения полярных координат (угла β и расстояния S) на положение точки должно быть равным. Иначе говоря, эллипс ошибок построения точки должен быть близок к окружности. Таким образом, следует принять $m_s^2 = S^2 \frac{m_\beta^2}{\rho^2}$, т. е. $m_{пол}^2 = 2m_s^2$ или $m_{пол}^2 = 2S^2 \frac{m_\beta^2}{\rho^2}$.

Отсюда можно найти m_s по заданному значению $m_{пол}$. Таким же путём находится ошибка построения угла m_β.

Работа оформляется на бумаге формата А4. Приводится вариант задания, исходные данные, последовательность и способ решения поставленных задач. К описанию прикладывается так называемый разбивочный чертёж, который составляется в произвольном масштабе на миллиметровой бумаге. На чертеже отображаются исходные геодезические знаки, схематически показываются выносимые точки и разбивочные элементы, посредством которых точки выносятся в натуру.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авакян В.В. Прикладная геодезия: Геодезическое обеспечение строительного производства. М.: «Амалданик», 2013.-432 с.: ил.
2. Авакян В.В. Прикладная геодезия: технологии инженерно-геодезических работ. М.: «Амалданик», 2012.-335 с.: ил.
3. СП 47.13330.2012. (СП 11-104-97). Инженерно-геодезические изыскания для строительства.
4. Левчук Г.П., Новак В.Е., Конусов В.Г. Прикладная геодезия: Основные методы и принципы инженерно-геодезических работ. - М., Недра, 1981.
5. Левчук Г.П., Новак В.Е., Лебедев Н.Н. Прикладная геодезия. Геодезические работы при изысканиях и строительстве инженерных сооружений. Под ред. Г.П. Левчука. Учебник для вузов. М., Недра, 1983.
6. ГОСТ 21779-82. Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Технологические допуски.
7. Дементьев В.Е. Современная геодезическая техника и её применение. Тверь, ООО ИПП «АЛЕН», 2006.
8. Тревого И.С., Шевчук П.М. Городская полигонометрия. – М., Недра, 1986. – 199 с., с ил.
9. Шануров Г.А., Мельников С.Р. Геотроника. Наземные и спутниковые радиоэлектронные системы и методы выполнения геодезических работ: Учебное пособие – М.; УПП «Репрография», МИИГАиК, 2001, - 136 с.; ил.
10. Клюшин Е.Б., Маркелова Е.Ю., Шлапак В.В. Методические указания по подготовке выпускных квалификационных работ. Изд. МИИГАиК. УПП «Репрография», 2006, 52.